Доклады Академии наук СССР
1955. Том 100, № 3

ЭКОЛОГИЯ

Г. Г. ВИНБЕРГ, действительный член АН БССР Т. Н. ГОДНЕВ
и В. И. ГАПОНЕНКО

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОИЗОТОПА ФОСФОРА ПРИ ИЗУЧЕНИИ УДОБРЕНИЯ ПРУДОВ

Фосфорные удобрения широко применяются в качестве одного из важных средств повышения рыбопродуктивности прудов. Для выяснения условий, при которых удобрения оказываются эффективными, надо знать закономерности биотического круговорота фосфора, в частности скорость обращаемости фосфора ([1]), которая в конкретных условиях данного водоема может быть в первом приближении получена при помощи радиоизотопа фосфора P^{32} ([2–4]).

Описанные ниже данные получены летом 1953 г. на опытных прудах в прудхозе Шеметово (Молодечненской обл. БССР). Пять расположенных в ряд и последовательно занумерованных опытных прудов с зависимым водоснабжением заполнялись водой через пруд № 2. Площадь каждого из опытных прудов была равна 800—1000 м², средняя глубина 0,5—0,6 м. Опытные пруды сооружены весной 1953 г. путем перегораживания поперечными дамбами одного из выростных прудов. При сооружении дамб на значительной части ложа прудов тонкий слой торфяного грунта был снят и обнажено песчаное основание. Подводная растительность в прудах отсутствовала. В верхней, мелководной части прудов в незначительном количестве имелся рогоз и другая полуводная и болотная растительность. Пруды были залиты 23 VI. Еще до начала работ, за 23 дня до залития, пруды №№ 4 и 5 были произвесткованы негашеной известью из расчета 4 т/га. Последующие анализы показали, что в известковании не было надобности, так как обменная активная реакция неизвесткованного грунта прудов, измеренная по Алямовскому, оказалась равной 6,6—7,0 и pH воды прудов данного рыбхоза был очень высоким (8,4—8,6 и выше). 16 VII в опытные пруды №№ 3 и 5 был внесен суперфосфат из расчета 450 кг/га, что при полном растворении примерно соответствует расчетной концентрации 6—7 мг P на 1 л. Суперфосфат, по возможности равномерно рассеянный по поверхности воды, не успев полностью раствориться, в значительной части осел на дно. Пруд № 2 не подвергался никакой обработке и служил контрольным. 30 VI опытные пруды были зарыблены мальками амурского сазана 3-недельного возраста из расчета 10 000 шт. на га.

Систематически проводившиеся анализы воды опытных прудов дали следующие величины основных гидрохимических показателей: цветность воды 50—70° платиново-кобальтовой шкалы, щелочность 2,65—3,07 мг-экв., pH 8,3—8,9, содержание кислорода 70—105% (обычно около 85%), окисляемость 16—18 мг/л, железо общее 1,5—3 мг/л.

Одновременно с суперфосфатом в пруды №№ 3 и 5 было внесено около 23 мк P^{32} в виде раствора фосфата натрия, который был по возможности равномерно разбрызган по поверхности воды прудов. Первое наблюдение за общей активностью воды прудов, сделанное через 24 часа после внесения P^{32}, дало величины, близкие к тем, которых можно было ждать при

условии равномерного распределения всего добавленного количества P^{32} во всем объеме воды прудов. Пробы для определения активности воды отбирались в каждом из прудов (№№ 3 и 5) с двух противоположных берегов. Для химических анализов в каждой точке пробы брались с поверхности и из придонного слоя воды.

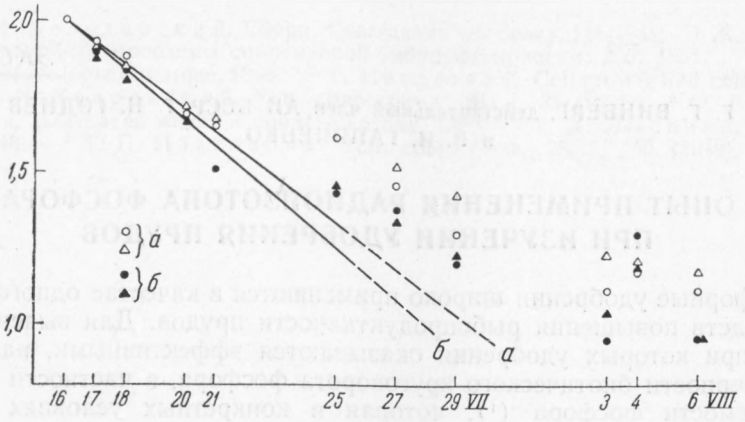


Рис. 1. Общая активность воды пруда. По оси ординат — логарифм числа импульсов, выраженный в % от принятой за 100 расчетной величины в момент внесения P^{32} (51190 имп/мин·литр в пруду № 3 и 59680 имп/мин·литр в пруду № 5). *а* — пруд № 3, *б* — пруд № 5. Кружки пробы у правого, треугольники у левого берега пруда

Результаты определений общей активности воды опытных прудов приведены на рис. 1 в виде процентов от числа импульсов в первый день наблюдения. При расчете этих величин введена поправка на спонтанное разложение P^{32}, следовательно, отражаемое ими снижение общей активности воды должно быть отнесено за счет снижения общего количества P^{32} в воде в результате поглощения его грунтом и растительностью. В первые дни после внесения P^{32} общая активность воды опытных прудов быстро снижалась и спустя примерно 3 недели была уже столь низкой, что с трудом поддавалась определению при принятой методике (выпаривание в чашке Петри 200 мл воды).

Чтобы использовать полученные данные для расчета скорости обращаемости фосфора, допустим, что снижение концентрации P^{32} в воде в единицу времени пропорционально наличной концентрации его. В этом случае на полулогарифмическом графике, выражающем зависимость концентрации от времени, точки должны расположиться по прямой. Рис. 1 показывает, что по меньшей мере для первых четырех наблюдений эмпирически полученные точки достаточно хорошо ложатся на прямую, что и дает возможность для этого периода применить формулу $A = A_0 \cdot 10^{-kt}$, где A — число импульсов или концентрация P^{32} ко времени t, A_0 — начальное значение той же величины при $t = 0$, t — время в сутках от момента внесения P^{32}, k — коэффициент, зависящий от скорости процесса. На основании обработки данных первых четырех сроков наблюдений методом наименьших квадратов получаем, что для пруда № 3 $k = 0{,}074$, для пруда № 5 $k = 0{,}082$. Из этих данных легко получить, что в пруду № 3 за сутки поглощалось 15,7% от наличного радиоизотопа фосфора и в пруду № 5 17,2%. Обращает на себя внимание большое сходство величин, полученных для обоих прудов, несмотря на небольшое число измерений. Если на основании полученных величин суточного поглощения P^{32} вычислить обратную им условную величину полной обращаемости P^{32}, то она для пруда № 3 будет равна 6,4 и для пруда № 5 — 5,8 суткам.

Замечательно, что последние величины оказались очень близкими к результатам аналогичных расчетов, сделанных для небольших озер, в которые вносился P^{32} и где обращаемость фосфора (turnover английских авторов) в одном случае оказалась равной 5,4, в другом 7,6 суткам (4).

По мере накопления связанного грунтом и растительностью P^{32} все бо́льшие количества его должны переходить обратно в воду. Очевидно, что этот процесс должен замедлить скорость снижения содержания P^{32} в воде по сравнению с ожидаемой в случае необратимого процесса поглощения, следующего сформулированному выше закону. Хотя данных наших наблюдений первого года, неизбежно носивших ориентировочный

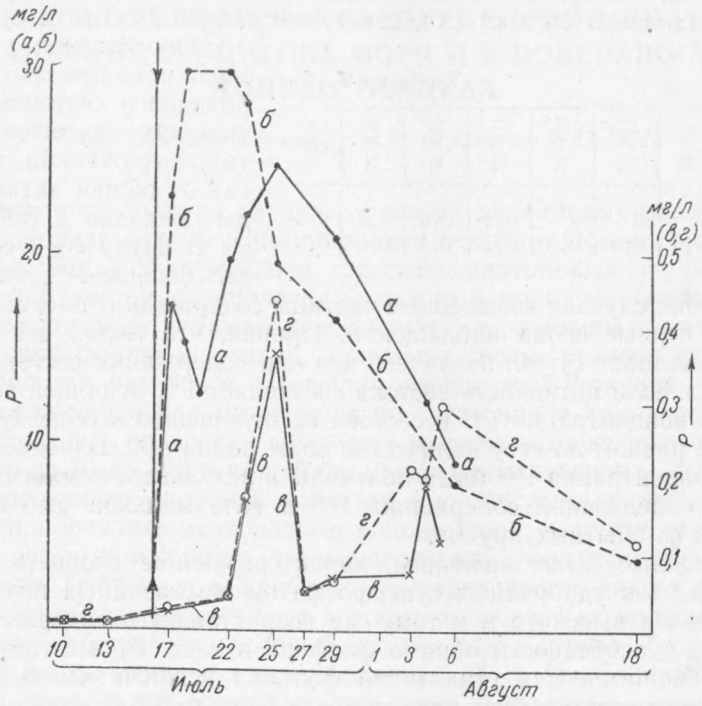


Рис. 2. Содержание общего *а* и *б* (шкала слева) и минерального *г* и *в* (шкала справа) фосфора в воде прудов. *а* и *г* — пруд № 3, *б* и *в* — пруд № 5

характер, и недостаточно, чтобы с уверенностью обнаружить этот процесс, все же весьма вероятно, что он имел место. Действительно, на рис. 1 отчетливо видно, что начиная с наблюдений от 25 VII общая активность воды была выше ожидаемой по начальной скорости потребления, что может быть связано с частичным обратным переходом в воду поглощенного P^{32}.

В неудобренных суперфосфатом прудах содержание общего фосфора в воде держалось на уровне 0,1—0,2 мг/л. В удобренных прудах уже на следующий день после внесения суперфосфата содержание общего фосфора оказалось весьма высоким (в пруду № 3 1,725 мг/л) и в дальнейшем еще значительно возросло, достигнув максимума в пруду № 3 на девятые, а в пруду № 5 на шестые сутки. Весьма интересно, что после достижения максимума содержание общего фосфора в воде обоих прудов начало стремительно снижаться (рис. 2).

Содержание в воде прудов минерального фосфора до внесения суперфосфата было очень мало (0,004—0,007 мг/л) и в неудобренных прудах оставалось на этом уровне до конца периода наблюдений. После внесения удобрения содержание минерального фосфора в воде значительно воз-

росло, однако изменялось отнюдь не параллельно содержанию общего фосфора (рис. 2). В общем концентрация минерального фосфора возрастала продолжительное время, дав не совсем понятный резкий максимум 25 VII, совпавший с резким максимумом прогрева воды (до 26°). Даже в период максимума минеральный фосфор составлял только 16% от общего. В первые сутки после внесения суперфосфата доля минерального фосфора в общем содержании фосфора в воде была очень мала (1% и менее). Систематически ведшиеся определения хромовой окисляемости сестона, собиравшегося на покрытых слоем порошковидного стекла мембранных фильтрах ([5]), показали, что в период наблюдений количество сестона, который в исключительно бедных планктоном опытных прудах в основном состоял из детрита, составляло 2—3 мг/л сухого веса.

Относительно невелико было и количество адсорбированного сестоном P^{32}. Активность взвешенных частиц, выраженная в процентах от общей активности воды показана в табл. 1.

Таблица 1

№№ прудов	18 VII	20 VII	21 VII	25 VII	27 VII	29 VII	3 VIII
№ 3	3	6	4	0,1	0,8	0,7	0,5
№ 5	0,8	0,9	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3

В пруду № 3 сестон связал больше P^{32}, чем в пруду № 5. В обоих случаях взвешенные частицы содержали относительно больше P^{32} в первые сроки наблюдений. Приняв, что сырой вес сестона в 10 раз превышает сухой, получаем, что при содержании сестона 2,5 мг/л сухого веса, если активность сестона составляет 1% от общей активности, то степень концентрации P^{32} в сестоне по отношению к общему содержанию его в равном по весу количестве воды равна 400. Близкие величины степени концентрации P^{32} были получены в результате немногих ориентировочных определений содержания P^{32} в теле мальков рыб и личинок хирономид из опытных прудов.

Приведенные выше величины, характеризующие скорость кругооборота фосфора в удобренных суперфосфатом мелководных прудах, получены в период высокого и к тому же возрастающего содержания минерального и в особенности общего фосфора в воде. Кроме того, в наших условиях биологическая утилизация фосфора исключительно слабо развитым планктоном опытных прудов могла быть только минимальной. При биологических испытаниях планктон изучавшихся прудов не обнаруживал потребности в фосфоре. Еще существеннее, что, несмотря на систематические и детальные наблюдения за зоо- и фитопланктоном и общим количеством бактерий в воде, не было обнаружено никаких различий жизнедеятельности планктона в удобренных и неудобренных прудах. Следовательно, описанные наблюдения относятся к условиям, при которых следует ждать минимальных скоростей утилизации P^{32} и круговорота фосфора. Хотя азотные минеральные удобрения не получили распространения в прудовом хозяйстве, есть основания считать, что в условиях Белоруссии имеется первоочередная потребность прудов в азоте ([5]), устранение которой должно привести к усиленному развитию планктона и соответственно изменить показатели утилизации и обращаемости фосфора.

Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина

Поступило
4 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. Г. Винберг, Усп. совр. биол., **34**, 1 (1952). [2] G. E. Hutchinson, Ecology, **31**, 2 (1950). [3] F. R. Hayes, C. C. Coffin, Endeavour, **10**, 38 (1951). [4] F. R. Hayes, J. A. McCarter, et al., Journ. Ecol., **40**, 1 (1952)). [5] Г. Г. Винберг, Учен. зап. Бел. гос. универ., **17** (1953).