

### МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ФОСФОРА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

*В статье представлены результаты исследований по изучению микробиологических процессов минерализации органического фосфора в иловых отложениях рыбоводных прудов. По данным авторов, быстрота минерализации органического фосфора увеличивается по мере приближения температуры среды к величинам, наиболее благоприятным для развития микроорганизмов. Установлено, что этому способствуют многие сапрофитные бактерии.*

**Ключевые слова:** иловые отложения, рыбоводные пруды, сапрофитные бактерии, минеральный фосфор, гидробионты, фитопланктон.

*M.Kh. Pezheva, S.Ch. Kazanchev, Zh.Kh. Getazheva,  
Dzh.V. Zhantegolov, L.A. Kazancheva*

### MICROBIOLOGICAL PROCESSES OF THE ORGANIC PHOSPHORUS DESTRUCTION IN THE BOTTOM SEDIMENTS

*The research results on the microbiological processes of the organic phosphorus mineralization in the silt sediments of the fish-breeding ponds are presented in the article. According to authors, the speed of the organic phosphorus mineralization increases in the process of the temperature approach to the values most favorable for the microorganism development. It is established that it is promoted by many saprophytic bacteria.*

**Key words:** silt sediments, fish-breeding ponds, saprophytic bacteria, mineral phosphorus, hydrobionts, phytoplankton.

**Введение.** Характерной особенностью иловых отложений служит то, что уже в тонком слое толщиной в несколько сантиметров они совершенно не фильтруют воду. Таким образом, в иловых отложениях исключаются восходящие и нисходящие токи воды, а сообщения между отдельными горизонтами и водной массой возможны только за счет медленных процессов диффузии органического и минеральных веществ. В зависимости от физико-химических условий среды минеральные вещества могут слабо связываться с илом и концентрироваться, либо переходить в водорастворимые соединения и выноситься с иловыми растворами. Вода обогащается минеральными веществами, особенно фосфором, в основном за счет миграции их из грунта и окружающих водоёмов почв.

В жизни гидробионтов огромное значение играет минеральный фосфор в составе иловых отложений. Растворенные в воде минеральные вещества поддерживают у гидробионтов постоянное осмотическое давление, обеспечивающее работу всех внутренних органов. От состава и количества растворенных в воде минеральных солей зависит биологическая продуктивность рыбоводных прудов.

Донные отложения пресноводных водоёмов (рыбоводных прудов) пока мало изучены. Отсутствие кларковых норм для донных отложений рыбохозяйственных водоёмов затрудняет оценку обеспеченности их минеральным и органическим фосфором, а литературные данные по содержанию этих элементов носят лишь сравнительный характер. Для рыбохозяйственного освоения водоёмов особенно важно знать обеспеченность минеральными веществами верхнего слоя иловых отложений. В связи с этим авторами впервые подробно изучены минеральный и органический состав фосфорных соединений иловых отложений рыбоводных прудов и их влияние на гидробиологическую продуктивность водоёмов [2, 4, 5, 6].

**Цель исследований.** На основе комплексного изучения оценить гидробиологические параметры рыбоводных прудов и разработать единый биогеохимический принцип уровня обеспеченности фосфорными соединениями звеньев трофических цепей водных угодий.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились в рыбоводных прудах, расположенных в разных эколого-фенологических рыбоводных зонах (республика поделена на 5 эколого-фенологических рыбоводных зон [3]), а также на кафедрах зоотехнии, ветеринарной медицины и ветеринарно-санитарной экспертизы факультета ветеринарной медицины и биотехнологии Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова в 2008–2010 гг.,

Пробы иловых отложений были отобраны с помощью 4 пластиковых труб высотой 45 см, соединенных между собой специальной металлической лентой. Расстояния между связкой труб (10 см) были выдержаны [1].

Исследованные пробы озоляли в фарфоровых тиглях в муфельной печи при температуре 450°C до полного исчезновения частиц угля [3]. Зола проб после растирания в агатовой ступке ссыпали в пакеты из кальки и хранили в эксикаторах. Найденное в золе содержание минерального фосфора пересчитывали на сухое вещество по формуле:

$$x = c \frac{A}{B},$$

где  $c$  – найденная концентрация;  $A$  – масса золы;  $B$  – масса сухого вещества.

Воспроизводимость результатов анализа устанавливали по ряду параллельных определений содержания элементов в одной и той же пробе.

Пробы донных осадков для микробиологических анализов отбирали стерильными модифицированными шприцами объёмом 2 см<sup>3</sup> в разных точках иловых монолитов после немедленного подъёма пластиковых труб. Численность фосфоротрофных бактерий учитывали методом предельных разведений с последующим культивированием.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Кроме органической части, иловые прудовые отложения содержат значительное количество минеральных компонентов. Из этих компонентов наибольшее значение имеют с микробиологической точки зрения те, которые участвуют в биологических процессах круговорота вещества в водоемах. К ним относятся фосфор, сера, железо и марганец, кальций, калий, кремний и др. Некоторые из этих элементов могут накапливаться в значительных количествах на дне водоёмов, что образует пресноводный мергель. Фосфор связан с развитием жизни в водоёмах и от его подвижности и способности перехода из иловых отложений в воду в значительной мере зависит и биологическая продуктивность самого водоёма.

Содержание общего фосфора в иловых прудовых отложениях может достигать от 0,33 до 1,79 % от сухого веса золы. Основным источником пополнения фосфора в прудах является сток воды с удобряемых полей водосборной площади, т.е. носит мягко выраженный зональный характер (табл. 1).

Таблица 1

**Процентное содержание различных соединений фосфора в поверхностном слое иловых отложений по рыбоводным зонам**

Эколого-фенологическая рыбоводная зона	Общий фосфор, мкг/л	Процент от общего фосфора		
		неорганического	растворенного органического	сестон
I	118,0	4,8	12,5	82,7
II	127,0	5,5	31,7	62,8
III	155,0	6,8	25,0	68,2
IV	187,0	7,2	28,8	64,0
V	203,0	7,8	30,0	62,2

Данные табл. 1 свидетельствуют, что концентрация общего фосфора колеблется от 203,0 мкг/л в V рыбоводной зоне до 118,0 мкг/л в зоне I. Существует прямая связь зонального расположения и содержанием разных форм фосфора. Быстрота минерализации органических фосфатов увеличивается по мере приближения температуры среды к величинам, наиболее благоприятным для развития микроорганизмов. Нами установлено, что этой способностью обладают многие сапрофитные организмы из родов *Rhizobium*, *Pseudomonas* и *Bakterium*. Активно также продуцируют фосфатазу спорозоносные бактерии *Bac. glutinosus*, *Bac. megatherium*, *Bac. simplex*, *Bacillus angulans* и др. Следует отметить, что способность минерализовать органические фосфаты присуща широкому кругу микроорганизмов, а не какой-либо отдельной специфической группе.

Были сделаны попытки учесть численность бактерий в рыбоводных прудах, способных развиваться на средах с источником фосфора в виде лецитина. Данные этих анализов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Количество бактерий, минерализующих органическое соединение фосфора в иле, млн кл/мл

Эколого-фенологическая рыбоводная зона	Механический состав ила	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
I	Песок	270	380	495	570	370	260
	Известковый песок	210	490	580	690	470	320
	Коричневый ил	190	570	620	790	650	430
	Черный ил	150	270	320	410	390	280
II	Песок	295	490	670	810	520	380
	Известковый песок	250	580	690	990	620	430
	Коричневый ил	210	620	790	1010	850	460
	Черный ил	180	390	420	630	470	490
III	Песок	305	520	790	1120	820	450
	Известковый песок	290	670	920	1210	900	480
	Коричневый ил	230	790	810	1120	830	510
	Черный ил	220	490	570	810	650	490
IV	Песок	350	2020	2350	2670	2160	2000
	Известковый песок	320	1970	2100	2240	2150	2110
	Коричневый ил	300	2550	2780	2890	2230	2115
	Черный ил	270	1200	1290	1350	1090	800
V	Песок	420	3250	3840	4500	3260	3000
	Известковый песок	410	2720	2970	2990	2115	2000
	Коричневый ил	390	2970	3050	3450	2570	2320
	Черный ил	300	1500	1690	1870	2120	820

Из табл. 2 видно, что численность бактерий, использующих фосфор лецитина в качестве источника фосфора, в иловых отложениях рыбоводных прудов невелика и максимум этих организмов в большинстве случаев находится в зоне температурного скачка и зависит от эколого-фенологического расположения рыбоводных прудов. По сумме активных температур (более чем +15°C) самые теплые зоны IV–V превосходят самые холодные в 1,5 раза. Так, сумма температур в V эколого-фенологической рыбоводной зоне составляет 3200–3400°C, а в IV рыбоводной зоне – 2800–3000°C. На территории III эколого-фенологической рыбоводной зоне этот показатель колеблется в пределах 2600–2800°C, во II и I зонах – от 1800–2600 до 800°C соответственно.

Таким образом, есть все основания предполагать, что численность бактерий сосредоточена в местах скопления фитопланктона. Значительное больше этих организмов было обнаружено в поверхностном слое иловых отложений.

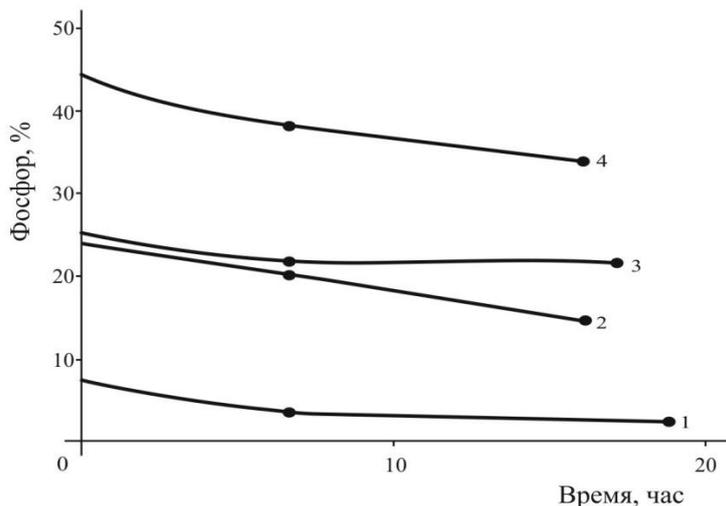
Нами выделено несколько штаммов. Все они относятся к обычным сапрофитным бактериям из родов *Pseudomonas*, *Bac. megatherium*, *Chromobacterium*. Это даёт ещё большее основание считать, что минерализация органических форм фосфора с выделением его в виде фосфатов связана с минерализующей деятельностью всей сапрофитной микрофлоры.

В связи с вопросом о том, как идет минерализация органического фосфора в иловых отложениях, представляет интерес наш опыт с активным илом из прудов отстойников. В состав активного ила входили *Zooglea ramigera*, *Escherichia intermedium*, *Bac. cereus*, *Flavobacterium sp. sp.* и различные виды *Pseudomonas*.

В анаэробных условиях в растворе началось быстрое увеличение минерального фосфора. Из 10 г активного ила за 190 мин в раствор перешло 72 мг P/PO<sub>4</sub>. Вслед за этим, как только через взвесь активного ила начали продувать воздух, содержание фосфора в растворе начало падать с такой же быстротой – за 160 мин содержание P/PO<sub>4</sub> упало на 58 мг/л. Анализы показали, что все изменения сухого веса осадка касались только фосфора. Процентное содержание углерода, азота и водорода в органическом веществе оставалось неизменным. По-видимому фосфор освобождается только как фосфатный из легкогидролизуемых веществ. Опыты показывают, что в этом процессе участвует неспецифическая сапрофитная микрофлора, так как в стерильных условиях ни минерализации органического фосфора, ни поглощение минерального не происходит.

Чтобы определить, из какой фракции органического вещества образовались фосфаты, через определенные интервалы времени отбирались пробы, и взвесь активного ила центрифугировалась. В фильтрате определялся минеральный фосфор, а отцентрифугированный осадок, где были организмы активного ила, промывался и в нем определялись 4 формы органического фосфора.

Как видно из рисунка, в первую очередь минеральный фосфор начал образовываться из той фракции органических веществ, которая переходит в раствор при обработке слабой кислотой.



*Распределение остаточного фосфора (%) от общего фосфора:*

*1 – липиды; 2 – нуклеиновые кислоты; 3 – протеины; 4 – кислоторастворимый фосфор*

Эта фракция органического фосфора в промытом осадке центрифугата начала снижаться в первую очередь. Примерно через 7 ч стали распадаться нуклеиновые кислоты. Фосфор протеинов и фосфалипидов за 20 ч опыта практически минерализации не подвергался.

Проведенные опыты показывают, что процесс фосфорного обмена у микроорганизмов обратим и сильно зависит от условий аэрации, а выделение фосфора в анаэробных условиях легко происходит в присутствии 0,001 М растворов  $HgCl_2$  и  $KCN$ , что указывает на минерализацию легкогидролизуемых органических соединений фосфора в процессе автолиза.

Из вышеизложенного следует, что поступив в водоём, фосфор практически не захороняется в иловых отложениях и все больших количествах участвует в круговороте веществ в рыбоводных прудах. Поскольку он часто лимитирует развитие фитопланктона, то с повышением запаса фосфора происходит необратимая эвтрофикация водоёма и ухудшение качества воды.

Связывание минерального фосфора происходит в рыбоводных прудах за счет развития фитопланктона. Бактериальные организмы также усваивают минеральный фосфор, но поскольку биомасса фитопланктона в одинаковом объёме воды обычно во много раз превышает биомассу бактерий, то их роль в связывании минерального фосфора имеет второстепенное значение.

Таким образом, роль микроорганизмов в круговороте фосфора в рыбоводных прудах сводится к усвоению фосфатов, минерализации органических форм фосфора неспецифической микрофлорой и к переводу в раствор фосфора из фосфорнокислого железа сероводородом биогенного происхождения.

### Выводы

1. Основное физиологическое значение фосфора заключается в том, что он входит в состав макроэргических соединений, способных запасать и расходовать энергию в процессе клеточного обмена.
2. Микроорганизмы способны производить ряд видоизменений состояний отдельных форм фосфора: 1) увеличивать растворимость неорганических соединений фосфора; 2) минерализовывать органические соединения с освобождением ортофосфата; 3) восстанавливать ортофосфаты до фосфорного водорода.
3. Перечисленные превращения (расщепления) происходят при участии сапрофитных организмов бактерий из родов *Rhizobium*, *Pseudomonas* и *Bakterium*.

Литература

1. Вайнштейн М.Б., Лауринвичус К.С. Учет и культивирование анаэробных бактерий. – Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1988. – 64 с.
2. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
3. Казанчев С.Ч., Кожаева Дж.К. Биолого-экологическая характеристика пресных водоёмов Кабардино-Балкарии (флора и фауна). – Нальчик, 2011. – 320 с.
4. Биоразнообразие и таксономические группы фитопланктона Черекского водохранилища / Д.К. Кожаева, С.Ч. Казанчев, Л.А. Казанчева [и др.] // Изв. Оренбур. гос. аграр. ун-та. – 2010. – Т. 4. – № 28. – С. 212–215.
5. Пежева М.Х., Халилова Ф.Ч., Казанчев С.Ч. Оценка численности и биомассы бактерий в пресноводных водоёмах предгорной части Кабардино-Балкарии // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Нальчик, 2013. – С. 187–189.
6. Основные факторы, влияющие на развитие микроорганизмов в рыбоводных прудах Кабардино-Балкарии / М.Х. Пежева, Ф.А. Халилова, Д.В. Жантеголов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – С. 1025–1029.



УДК 633.99

Е.А. Ефремов, Р.А. Назиров, А.А. Ефремов

**СОЗДАНИЕ “КВАЗИПРИРОДНОЙ” СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРПЕНОИДОВ ХВОЙНОГО ЛЕСА**

*Исследована санационная активность эфирного масла пихты сибирской и сосны сибирской по отношению к микробным сообществам воздушной среды. Показано, что распыление эфирного масла снижает численность микробных сообществ на 65–70 %. Обнаружено, что распыление смесей эфирных масел положительно влияет практически на все показатели социально-психологических свойств коллектива.*

**Ключевые слова:** санационная активность, эфирное масло, микробные сообщества, социально-психологические свойства коллектива.

Е.А. Efremov, R.A. Nazirov, A.A. Efremov

**THE CREATION OF THE "QUASI-NATURAL" MAN HABITATION WITH THE USE OF THE CONIFEROUS FORESTTERPENOIDS**

*The sanitation activity of the essential oil of the Siberian fir and the Siberian pine in relation to the air environment microbial community is researched. It is shown that the essential oil spray reduces the number of microbial communities by 65–70 %. It was found that the spray of the essential oils mixture has a positive effect on almost all the indices of the collective social and psychological characteristics.*

**Key words:** sanitation activity, essential oil, microbial communities, collective social and psychological characteristics.

**Введение.** Связанное с развитием современной цивилизации введение в окружающую среду большого числа органических и неорганических веществ, ранее отсутствовавших в биосфере или присутствовавших в незначительных концентрациях, привело к существенному ухудшению экологической обстановки для человека. Так, в Красноярском крае (без учета Норильского промрайона) суммарное количество выбросов в атмосферу возросло с 637,5 тыс. т в 2001 г. до 1071,2 в 2012 г. [1], то есть в 1,68 раза. В этой связи для улучшения среды обитания человека необходимо сокращать выбросы загрязняющих веществ от всех источников, увеличивать зоны лесных насаждений, чаще бывать на природе вдали от промышленных центров.