

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 165-180.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 4. P. 165-180.

Обзорная статья
УДК 639.3.043:577.17
doi:10.33284/2658-3135-105-4-165

Бациллярные пробиотики в кормлении и содержании гидробионтов

Артур Николаевич Ильяшенко¹

¹Bioproton PTY, Москва, Россия

¹arturbio@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6755-5180>

Аннотация. Рыбоводство в России и в мире активно внедряет в производственный процесс технологию выращивания гидробионтов в установках с замкнутым циклом водообеспечения, что требует уделять особое внимание вопросам экологии и кормления. Наряду с этим актуальной проблемой современного животноводства является уход от использования антибиотиков, альтернативой которым являются пробиотики. Применение экструдированных кормов и особенности водной среды обитания ограничивают возможности использования пробиотиков на основе представителей облигатной микрофлоры кишечника гидробионтов в аквакультуре. Это послужило стимулом к изучению спорообразующих бактерий, обладающих широким набором функциональных особенностей. Кормовые добавки на их основе способствуют активизации специфических и неспецифических систем защиты организма, нормализуют пищеварительные процессы, способствуют лучшему усвоению кормов, повышают иммунный статус и устойчивость организма к заболеваниям, а также увеличивают скорость роста. Комбинированное использование нескольких штаммов *Bacillus* в составе одной добавки позволяет снизить их расход и повысить экономическую отдачу за счёт эффекта синергизма, а по своим функциональным возможностям они превосходят многокомпонентные пробиотики. Как показывают результаты исследований отечественных и зарубежных учёных, применение бациллярных пробиотиков в кормлении и содержании гидробионтов оказывает положительное воздействие на результативность выращивания различных видов рыб, моллюсков и ракообразных. Дальнейшая работа по изучению действия отдельных штаммов и их сочетаний на физиологию, зоотехнику и зооигиену объектов аквакультуры будет способствовать разработке бациллярных пробиотиков для подавления видоспецифичных патогенов.

Ключевые слова: аквакультура, гидробионты, пробиотики, кормовые добавки, *bacillus*

Для цитирования: Ильяшенко А.Н. Бациллярные пробиотики в кормлении и содержании гидробионтов (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 165-180. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-165>

Review article

Bacillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts

Arthur N Ilyashenko¹

¹Bioproton PTY, Moscow, Russia

¹arturbio@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6755-5180>

Abstract. The fish farming in Russia and in the world is actively introducing into the production process the technology of growing aquatic organisms in installations with a closed-cycle water supply, which requires paying special attention to environmental issues and feeding. In addition to this, an urgent problem of modern animal husbandry is avoiding the use of antibiotics, an alternative to which are probiotics. The use of extruded feeds and the peculiarities of the aquatic habitat limit the possibilities of using

probiotics based on representatives of the obligate intestinal microflora of hydrobionts in aquaculture. This stimulated the study of spore-forming bacteria with a wide range of functional features. Feed additives based on them contribute to the activation of specific and non-specific body defense systems, normalize digestive processes, promote better assimilation of feed, increase the immune status and resistance of the body to diseases, as well as increase the growth rate. The combined use of several *Bacillus* strains as part of a single supplement allows to reduce their consumption and increase economic returns due to the synergistic effect, and they surpass multicomponent probiotics in their functional capabilities. According to the research results of domestic and foreign scientists, the use of *Bacillus* probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts has a positive effect on the effectiveness of the cultivation of various species of fish, shellfish and crustaceans. Further work on the study of the effects of individual strains and their combinations on the physiology, animal science and zoo hygiene of aquaculture facilities will contribute to the development of *Bacillus* probiotics for the suppression of species-specific pathogens.

Keywords: aquaculture, hydrobionts, probiotics, feed additives, bacillus.

For citation: Plyashenko AN. Bacillus probiotics in the feeding and maintenance of hydrobionts (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):165-180. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-165>

Введение.

Использование пробиотиков в аквакультуре оказывает большое влияние на водные организмы не только путём прямого воздействия на микробиоту кишечника, но и опосредованно, через повышение качества воды. При этом решаются две задачи: улучшение зоотехнических показателей и профилактика заболеваний бактериальной этиологии. В контексте развития органической аквакультуры применение пробиотических веществ становится актуальной альтернативой лечению антибиотиками (Романова Е.М. и др., 2017).

Если чистоту воды в поилках сельскохозяйственных животных можно контролировать, то постоянно отслеживать биотоп пруда затруднительно, так как пруд – естественная экосистема. При создании поддержания здорового баланса кишечной микрофлоры создаются оптимальные условия для роста и развития рыб.

Из всего разнообразия пробиотиков, применяемых в аквакультуре, особого внимания заслуживают кормовые добавки на основе бактерий рода *Bacillus*. Это – спорообразующие анаэробы с палочковидной формой клетки. Микроорганизмы данной группы широко распространены в почве и в воде, где они принимают активное участие в разложении органических соединений и связывают атмосферный азот, а также могут быть выделены из кишечника человека и животных (Elshaghabe FMF et al., 2017).

Функциональные возможности представителей рода *Bacillus* очень разнообразны. Они активно продуцируют ферменты, аминокислоты и другие биологически активные субстраты и выделяют бактериоцины (антимикробные пептиды), способствующие подавлению роста патогенных бактерий в пищеварительной системе гидробионтов, обеспечивают иммуностимуляцию, используются для уменьшения метаболических отходов в водной системе (Ghosh K et al., 2019; Diabankana RGC et al., 2021; Похиленко В.Д. и др., 2022; Филатов А.В. и др., 2021; Феоктистова Н.В. и др., 2017).

Бациллярные пробиотики обладают высоким антогонистическим действием в отношении почти 90 % условно-патогенных бактерий и грибов. Регулируя микробиоценоз пищеварительного тракта, пробиотики оказывают благотворное воздействие на усвоение питательных веществ, что делает корма более эффективными и снижает их затраты на единицу продукции. Это не только снижает их стоимость, но и приносит дополнительную прибыль (Мурленков Н.В., 2019).

Особенности применения и разнообразие бациллярных пробиотиков.

Процесс формирования биоценоза кишечника у рыб начинается с момента перехода на самостоятельное активное питание. Рыба захватывает воду, в том числе в процессе акта дыхания. Поэтому заселение кишечника пробиотическими культурами, которые укрепляют иммунитет и

препятствуют росту численности патогенных микроорганизмов, необходимо начинать именно в этот важный, критический период онтогенеза.

В качестве основы для бациллярных пробиотиков, применяемых в практике кормления и выращивания гидробионтов, в настоящее время используют отдельные штаммы *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. coagulans*, *B. megaterium*, *B. cereus*, *B. pumilus*, *B. aerophilus*, *B. aerius*.

Перспективным направлением в кормлении является использование полипробиотиков – добавок на основе бактерий сразу нескольких видов или нескольких штаммов микроорганизмов. Зачастую они совмещают в себе аэробные (например, *Bacillus subtilis*) и анаэробные (например, *Bacillus licheniformis*) организмы. Штаммы могут занимать различные экологические ниши и наделены специфическими функциональными особенностями, что создаёт эффект синергизма и увеличивает эффективность препаратов такого типа в сравнении с монокультурными пробиотиками. Такие добавки обладают низким расходом (КОЕ/кг готового корма) и высокой экономической отдачей. Но для их создания необходимо проведение большого количества исследований, что сопряжено с появлением дополнительных экономических затрат (Ильяшенко А.Н., 2020).

Представители рода *Bacillus* являются грамположительными бактериями, они хорошо перерабатывают органическую массу в углекислый газ (Kuebutornye FK et al., 2019). В опытах на ракообразных было доказано, что их накопление в воде способствует снижению концентрации растворённого и осажённого органического углерода ($17,5 \pm 4,1$ мг/л в группе с *B. subtilis* против $32 \pm 0,3$ мг/л без пробиотика; $p < 0,05$), сокращает количество патогенных вибрионов ($138 \pm 0,5$ КОЕ/мл в группе с *B. subtilis* против 4270 ± 404 КОЕ/мл) и повышает выживаемость, скорость роста и здоровье королевской креветки *Litopenaeus vannamei* (Phung LT et al., 2020) (табл. 1).

Несмотря на то, что после перехода из споровой в вегетативную форму бактерии рода *Bacillus* способны к размножению и прохождению полного жизненного цикла в организме хозяина, данные микроорганизмы относятся к транзитной микрофлоре кишечника. Они не могут постоянно населять пищеварительный тракт и поддерживать необходимый для достижения положительных результатов размер популяции без постоянного пополнения колонии извне (Чистяков В.А. и др., 2021). Их функция – стабилизировать естественную микрофлору организма и самостоятельно колонизировать желудочно-кишечный тракт. Сроки, в течение которых бациллы могут оставаться в организме без введения новых доз, варьируют в зависимости от хозяина. Поэтому бациллярные пробиотики добавляют в корма не по показаниям, а вводят на постоянной основе.

К преимуществам бациллярных пробиотиков относится возможность спорообразования, что обеспечивает высокую термостабильность добавок на их основе и позволяет использовать их в кормах экструдированных кормах (Niu K-M et al., 2021; Niu KM et al., 2019). Споры бактерий могут оставаться полностью жизнеспособными после воздействия температуры в $+140$ °C в течение 3-4 секунд или $+130$ °C в течение 1 минуты, а после 3 минут количество спор, способных к вегетации, остаётся на уровне не менее 50 % от их общего содержания в добавке (Liao SF and Nyachoti M, 2017; Ильяшенко А., 2021). В форме спор бактерии рода *Bacillus* выживают в кислой среде желудка и не требуют специальных условий хранения и транспортировки (Бомко Т.В. и др., 2016).

К недостаткам использования представителей рода *Bacillus* в качестве пробиотиков относят их способность переносить гены, связанные с устойчивостью к противомикробным препаратам, а также возможность продукции энтеротоксинов и биогенных аминов (Lee NK et al., 2019). Поэтому при отборе штаммов *Bacillus* для разработки пробиотических препаратов необходим предварительный скрининг на наличие факторов резистентности, на цитотоксичность и генотоксичность.

Непатогенные штаммы *Bacillus spp.*, используемые в производстве пробиотиков, безвредны для гидробионтов даже в концентрациях, значительно превышающих рекомендуемые для применения. Способность некоторых из них существенно повышать неспецифическую резистентность макроорганизма, позволяет назначать их для предупреждения инфекций бактериальной и вирусно-бактериальной этиологии и с целью полного восстановления нарушенного микробиоценоза (Kapse NG et al., 2018; Manna S et al., 2021; Parmar K et al., 2021).

Механизм работы бациллярных пробиотиков.

Попав в организм, бактерии образуют в кишечнике быстрорастущие колонии и вытесняют из него патогенные и условно патогенные микроорганизмы, способствуя заселению и развитию собственной полезной микрофлоры рыб. При этом продуцируются биологически активные вещества, происходит синтез пищеварительных ферментов и аминокислот. Особенно ярко это действие проявляется в период воздействия на рыбу стрессовых факторов, таких как отлов, сортировка, транспортировка и пересадка, смена климатических условий в межсезонье (Romanova E et al., 2020). Пробиотики активизируют специфические и неспецифические системы защиты организма, нормализуют пищеварительные процессы, способствуют лучшему усвоению кормов, повышают иммунный статус и устойчивость организма к заболеваниям, а также увеличивают скорость роста.

Известно, что при пероральном приёме как вегетативных клеток, так и спор, бактерии проходят несколько циклов споруляции и респоруляции, прежде чем начнут выводиться из организма; следовательно, препараты на основе *Bacillus*, содержащие клетки в обеих формах – споровой и вегетативной – могут быть терапевтически более эффективными (Савустьяненко А.В., 2016).

Было доказано, что вегетативные формы бактерий рода *Bacillus* способны прикрепляться к стенке кишечника и образовывать биоплёнки, что позволяет защитить полезную микрофлору и создать препятствия для размножения патогенных микроорганизмов. Под защитой биоплёнки физиологические процессы бактерий происходят без угнетения со стороны негативных факторов – повышается продукция метаболитов и биологически активных веществ (Salas-Jara MJ et al., 2016). Важную роль играют сигнальные вещества, обеспечивающие взаимодействие клеток в биоплёнке. Эти вещества могут служить аналогами регуляторных молекул животного организма. Также можно предположить, что соматостатинподобный пептид, обнаруженный при развитии некоторых штаммов *Bacillus subtilis*, является фактором межклеточной коммуникации. Установлено, что грамположительные бактерии взаимодействуют друг с другом при помощи олигопептидных сигнальных молекул. Согласно симбиогенетической теории происхождения эукариот многие сигнальные молекулы, общие для бактерий и эукариот, у первых обеспечивали взаимодействие клетки с другими членами прокариотного сообщества, а у вторых – согласованную работу клеток многоклеточного организма (Xiao Y et al., 2022).

Результаты применения бациллярных пробиотиков на объектах аквакультуры.

Добавление пробиотиков в корма способствует повышению рыбопродуктивности, что складывается из профилактики и лечения болезней рыб инфекционной и алиментарной этиологии, нормализации состояния организма вследствие интенсивного применения антибиотиков, смягчения стрессов, вызываемых сменой корма, а также травматическими повреждениями, связанными с технологическим перемещением рыб.

Помимо включения в корм – эндогенный способ применения, бактерии рода *Bacillus* применяют экзогенным способом – *in situ* (в среду обитания) для биоремедиации вод. Это обусловлено тем, что грамположительные бактерии более эффективно преобразовывают органические вещества в CO₂ по сравнению с грамотрицательными бактериями (Kumar et al., 2016). Накопление растворённых и твёрдых частиц органического вещества – очень распространённое явление, наблюдаемое при разведении гидробионтов, особенно ракообразных. Добавление в воду бациллярных пробиотиков позволяет снизить содержание органического углерода в системе. Было выявлено, что аэробные виды более эффективно удаляют аммиак из водной толщи в условиях аэрации, чем анаэробные. В качестве подходящих видов учёными рассматриваются в первую очередь *B. subtilis* и *B. licheniformis*, а также *B. cereus*, *B. coagulans* (Soltani M et al., 2019).

Исследования, проведённые на африканских клариевых сомах *Clarias gariepinus*, показали эффективность использования *B. subtilis* при сочетании введения пробиотика с кормами и путём прямого добавления в воду. Авторы исследования пришли к выводу, что это связано с нормализацией кишечного микробиоценоза рыб и с улучшением экологического состояния среды обитания,

которое происходит в результате подавления пробиотиком роста в водной среде патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, снижающих естественную резистентность гидробионтов (Любомирова В.Н. и др., 2018).

В дополнение к вышеуказанным методам также может быть осуществлено нанесение пробиотика путём инъекции. Наиболее часто используемыми способами введения пробиотических смесей является включение в корм (92,8 %), за которым следует прямое включение в воду (4,8 %) и в живой корм (1,6 %) (Subedi B and Shrestha A., 2020; Melo-Bolívar JF et al., 2020).

За последние 25 лет было проведено множество исследований по изучению влияния бациллярных пробиотиков на различные показатели выращивания гидробионтов. Авторы исследований отмечали увеличение живой массы, скорости роста, жизнеспособности рыб и ракообразных и моллюсков. Была выявлена эффективность действия различных видов *Bacillus* в ингибировании роста патогенных микроорганизмов в воде. Зачастую в качестве пробиотика используют бактерии, изолированные из кишечника гидробионтов. Как показывают результаты исследований, они идеально подходят для применения в аквакультуре, поскольку лучше приживаются в организме и эффективны против патогенных микроорганизмов или их метаболитов (Ghosh K, 2019) (табл. 1).

Таблица 1. Влияние бациллярных пробиотиков на качество воды и результативность выращивания гидробионтов

Table 1. The Influence of *Bacillus* probiotics on the quality of water and the effectiveness of the hydrobionts cultivation

Виды бактерий / <i>Species of bacteria</i>	Объект / <i>Object</i>	Эффект / <i>Effect</i>	Источник / <i>Reference</i>
1	2	3	4
<i>B. aerophilus</i> (кишечный изолят <i>L.rohita</i>) в корм $1 \cdot 10^7$ КОЕ/г / <i>B. aerophilus</i> (intestinal isolate of <i>L.</i> <i>rohita</i>) in feed $1 \cdot 10^7$ CFU/g	Лабео рохита / <i>Labeo rohita</i>	↑выживаемость после зараже- ния <i>A. hydrophila</i> на 53,1 % / ↑ <i>survival after infection with A.</i> <i>hydrophila</i> by 53.1%	Ramesh D et al., 2017
<i>B. aerius</i> (кишечный изолят сома) в корм $1 \cdot 10^7$ КОЕ/г / <i>B. aerius</i> (intestinal isolate of catfish) in feed $1 \cdot 10^7$ CFU/g	Пангасиус / <i>Pangasius bocourti</i>	↑живая масса (после 60 дней откорма) на 31,2 % / ↑ <i>live</i> <i>weight (after 60 days of fatten-</i> <i>ing)</i> by 31.2% ↓конверсия корма на 0,57 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> by 0.57 units ↑выживаемость после зараже- ния <i>A. hydrophila</i> на 30,7 %* / ↑ <i>survival after infection with A.</i> <i>hydrophila</i> by 30.7%*	Meidong R et al., 2018
<i>B. amyloliquefaciens</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г / <i>B. amyloliquefaciens</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^6$ CFU/g	Косатка-скрипун/ <i>Tachysurus fulvidraco</i>	↑живая масса (после 4 недель откорма) на 6,8 % / ↑ <i>live</i> <i>weight (after 4 weeks of fatten-</i> <i>ing)</i> by 6.8% ↓конверсия корма на 0,18 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> by 0.18 units	Xue M et al., 2022

Продолжение таблицы 1			
1	2	3	4
<i>B. amyloliquefaciens</i> (кишечный изолят <i>Haliotis discus hannai</i>) 1*10 ⁵ КОЕ/г / <i>B. amyloliquefaciens</i> (intestinal isolate of <i>Haliotis discus hannai</i>) 1*10 ⁵ CFU/g	Морские ушки / <i>Haliotis discus hannai</i>	↑ среднесуточные привесы (после 8 недель откорма) на 11 %/день / ↑average daily gain (after 8 weeks of fattening) by 11% per day ↓ конверсия корма на 0,20 ед. / ↓feed conversion by 0.20 units ↑ сохранность на 5,63 % / ↑ safety by 5.63% ↑ выживаемость после заражения <i>S. iniae</i> ~ на 38,0 % / ↑ survival after infection with <i>S. iniae</i> ~ by 38.0%*	Xiaolong G et al., 2019
<i>B. aquimaris</i> (кишечный изолят <i>Litopenaeus vannamei</i>) в корм 3*10 ⁶ КОЕ/г / <i>B. aquimaris</i> (intestinal isolate of <i>Litopenaeus vannamei</i>) in feed 3*10 ⁶ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ живая масса (после 4 недель откорма) на 34,0 % / ↑ live weight (after 4 weeks of fattening) by 34.0%	Ngo HT et al., 2016
<i>B. coagulans</i> (споры) в корм 1*10 ⁷ КОЕ/г / <i>B. coagulans</i> (spores) in feed 1*10 ⁷ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ живая масса (после 56 дней откорма) на 10,8 % / ↑ live weight (after 56 days of fattening) by 10.8% ↓ конверсия корма на 0,51 ед. / ↓feed conversion by 0.51 units ↑ выживаемость после заражения <i>V. parahaemolyticus</i> на 56,0 % / ↑ survival after infection with <i>V. parahaemolyticus</i> by 56.0%	Amoah K et al., 2019
<i>B. licheniformis</i> (споры) в корм 5*10 ⁶ КОЕ/г / <i>B. licheniformis</i> (spores) in feed 5*10 ⁶ CFU/g	Нильская тиляпия / <i>Oreochromis niloticus</i>	↑ живая масса (после 10 недель откорма) на 10,8 % / ↑ live weight (after 10 weeks of fattening) by 10.8% ↑ выживаемость после заражения <i>S. iniae</i> ~ на 34,0 % / ↑ survival after infection with <i>S. iniae</i> ~ by 34.0%*	Han B et al., 2015
<i>B. licheniformis</i> (живые) в корм 1*10 ⁶ КОЕ/г / <i>B. licheniformis</i> (live) in feed 1*10 ⁶ CFU/g	Белый амур / <i>Stenopharyngodon idella</i>	↑ абсолютный привес (после 30 дней откорма) на 16,6 % / ↑ absolute weight gain (after 30 days of fattening) by 16.6%	Qin L et al., 2020
<i>B. megaterium</i> (живые) в корм 1*10 ⁶ КОЕ/г / <i>B. megaterium</i> (live) in feed 1*10 ⁶ CFU/g	Клариевый сом / <i>Clarias sp.</i>	↑ среднесуточные привесы (30 дней) на 35,9 % / ↑average daily gain (30 days) by 35.9% ↓ конверсия корма на 0,44 ед. / ↓feed conversion by 0.44 units	Afrilasari W et al., 2016

Продолжение таблицы 1			
1	2	3	4
<i>B. pumilus</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^7$ КОЕ/г / <i>B. pumilus</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^7$ CFU/g	Клариевый сом / <i>Clarias macrocephalus</i> × <i>C. gariepinus</i>	↑ живая масса (после 8 недель откорма) на 53,5 % / ↑ <i>live weight</i> (after 8 weeks of fattening) by 53.5% ↓ конверсия корма на 0,75 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> by 0.75 units	Munglue P et al., 2019
<i>B. pumilus</i> (живые) в корм $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г / <i>B. pumilus</i> (live) in feed $1 \cdot 10^8$ CFU/g	Морской окунь / <i>Epinephelus coioides</i>	↓ конверсия корма (после 60 дней откорма) на 0,12 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> (after 60 days of fattening) by 0.12 units	Yan YY et al., 2016
<i>B. pumilus</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г / <i>B. pumilus</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^8$ CFU/g	Морской окунь / <i>Epinephelus coioides</i>	↑ живая масса (после 60 дней откорма) на 20,6 % / ↑ <i>live weight</i> (after 60 days of fattening) by 20.6% ↓ конверсия корма на 0,11 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> by 0.11 units	Yan YY et al., 2016
<i>Bacillus</i> sp. NP5 (кишечный изолят <i>Oreochromis niloticus</i>) в корм $3 \cdot 10^5$ КОЕ/г / <i>Bacillus</i> sp. NP5 (intestinal isolate of <i>Oreochromis niloticus</i>) in feed $3 \cdot 10^5$ CFU/g	Клариевый сом / <i>Clarias</i> sp.	↑ удельная скорость роста (после 40 дней откорма) на 0,8 % / ↑ <i>specific growth rate</i> (after 40 days of fattening) by 0.8% ↑ выживаемость после заражения <i>A. hydrophila</i> на 30,0 % / ↑ <i>survival</i> after infection with <i>A. hydrophila</i> by 30.0%	Mustahal et al., 2021
<i>Bacillus</i> sp. NP5 (кишечный изолят <i>Oreochromis niloticus</i>) в корм $2 \cdot 10^8$ КОЕ/г / <i>Bacillus</i> sp. NP5 (intestinal isolate of <i>Oreochromis niloticus</i>) in feed $2 \cdot 10^8$ CFU/g	Клариевый сом / <i>Clarias</i> sp.	↑ производительность икры (количество икры на маточное стадо) на 57,4 % / ↑ <i>caviar productivity</i> (amount of caviar per mature herd) by 57.4 %	Ayuningtyas SQ et al., 2018
<i>Bacillus</i> sp. NP5 (кишечный изолят <i>Oreochromis niloticus</i>) в корм $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г / <i>Bacillus</i> sp. NP5 (intestinal isolate of <i>Oreochromis niloticus</i>) in feed $1 \cdot 10^6$ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ выживаемость после заражения вирусом синдрома белого пятна на 33,4 % / ↑ <i>survival</i> after infection with white spot syndrome virus by 33.4%	Widanarni et al., 2020
<i>Bacillus</i> sp. NP5 (кишечный изолят <i>Oreochromis niloticus</i>) в корм $1 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г / <i>Bacillus</i> sp. NP5 (intestinal isolate of <i>Oreochromis niloticus</i>) in feed $1 \cdot 10^{10}$ CFU/g	Сазан / <i>Cyprinus carpio</i>	↑ среднесуточные привесы (после 30 дней откорма) в 1,1 раза / ↑ <i>average daily gain</i> (after 30 days of fattening) by 1.1 times ↓ конверсия корма на 1,01 ед. / ↓ <i>feed conversion</i> by 1.01 units ↑ сохранность на 23,5 % / ↑ <i>safety</i> by 23.5% ↑ выживаемость после заражения <i>A. Hydrophila</i> на 50,0 % / ↑ <i>survival</i> after infection with <i>A. hydrophila</i> by 50.0%	Djauhari R et al., 2016

Продолжение таблицы 1			
1	2	3	4
<i>Bacillus sp.</i> NP5 (кишечный изолят <i>Oreochromis niloticus</i>) в воду $1,2 \cdot 10^4$ КОЕ/мл / <i>Bacillus sp.</i> NP5 (intestinal isolate of <i>Oreochromis niloticus</i>) in water $1,2 \cdot 10^4$ CFU/ml	Клариевый сом / <i>Clarias gariepinus</i>	↑ живая масса (после 45 дней откорма) на 34,5 % / ↑ live weight (after 45 days of fattening) by 34.5% ↓ конверсия корма на 0,67 ед. / ↓ feed conversion by 0.67 units	Putra AN et al., 2021
<i>B. subtilis</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^8$ КОЕ/г / <i>B. Subtilis</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^8$ CFU/g	Нильская тилapia / <i>Oreochromis niloticus</i>	↑ живая масса (после 8 недель откорма) на 8,5 % / ↑ live weight (after 8 weeks of fattening) by 8.5%	Won S et al., 2020
<i>B. subtilis</i> (споры) в воду $1 \cdot 10^5$ КОЕ/мл / <i>B. Subtilis</i> (spores) in water $1 \cdot 10^5$ CFU/ml	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↓ концентрация раств. СО с $32 \pm 0,3$ мг/л до $17,5 \pm 4,1$ мг/л / ↓ concentration of dissolved CO from 32 ± 0.3 mg/l to 17.5 ± 4.1 mg/l ↓ количество патогенных вибрионов с 4270 ± 404 КОЕ/мл до $138 \pm 12,5$ КОЕ/мл / ↓ number of pathogenic vibrios from 4270 ± 404 CFU/ml to 138 ± 12.5 CFU/ml ↑ живая масса (после 60 дней откорма) на 44,0 % / ↑ live weight (after 60 days of fattening) by 44.0%	Phung LT et al., 2020
<i>B. subtilis</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г / <i>B. Subtilis</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^6$ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ живая масса (после 8 недель откорма) на 73,7 % ↓ конверсия корма на 0,69 ед. / ↓ live weight (after 8 weeks of fattening) by 73.7% ↓ feed conversion by 0.69 units	Adorian TJ et al., 2018
<i>B. subtilis</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^5$ КОЕ/г / <i>B. Subtilis</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^5$ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ живая масса (после 40 дней откорма) на 86,5 % / ↑ live weight (after 40 days of fattening) by 86.5% ↓ конверсия корма на 1,42 ед. / ↓ feed conversion by 1.42 units ↑ сохранность на 25,8 % / ↑ safety by 25.8%	Mirbakhsh M et al., 2022
<i>B. subtilis</i> (споры) в корм $4 \cdot 10^7$ КОЕ/г / <i>B. Subtilis</i> (spores) in feed $4 \cdot 10^7$ CFU/g	Нильская тилapia / <i>Oreochromis niloticus</i>	↑ выживаемость после заражения <i>S. iniae</i> на 33,3 %* / ↑ survival after infection with <i>S. iniae</i> by 33.3%*	Addo S et al., 2017
<i>B. velezensis</i> (кишечный изолят <i>Litopenaeus vannamei</i>) в корм $1 \cdot 10^5$ КОЕ/г / <i>B. Velezensis</i> (intestinal isolate of <i>Litopenaeus vannamei</i>) in feed $1 \cdot 10^5$ CFU/g	Королевская креветка / <i>Litopenaeus vannamei</i>	↑ живая масса (после 42 дней откорма) на 18,7 % / ↑ live weight (after 42 days of fattening) by 18.7 % ↑ сохранность на 1,93% / ↑ safety by 1.93 % ↑ выживаемость после заражения <i>V. parahaemolyticus</i> на 36,1 % / ↑ survival after infection with <i>V. parahaemolyticus</i> by 36.1%	Chen L et al., 2021

Продолжение таблицы 1			
1	2	3	4
<i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^7$ КОЕ/г / <i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^7$ CFU/g	Речной рак / <i>Astacus astacus</i>	↑ живая масса (после 60 дней откорма) на 48,6 % / ↑ live weight (after 60 days of fattening) by 48.6%	Pronina G et al., 2021
<i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> (споры) в корм $1 \cdot 10^5$ КОЕ/г / <i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> (spores) in feed $1 \cdot 10^5$ CFU/g	Белый морской окунь / <i>Lates calcarifer</i>	↑ живая масса (после 8 недель откорма) + 78,8 % / ↑ live weight (after 8 weeks of fattening) + 78.8% ↓ конверсия корма на 0,89 ед. / ↓ feed conversion by 0.89 units	Adorian TJ et al., 2019

Примечание: все приведённые в таблице цифровые значения имеют достоверную разность по отношению к контролю при $P \leq 0,05$, * – при $P \leq 0,01$

Note: all numerical values given in the table have a significant difference in relation to the control at $P \leq 0,05$, * – при $P \leq 0,01$

Представленный обзор свидетельствует о широком разнообразии бациллярных пробиотиков, обладающих положительным действием на объекты аквакультуры и показывает их эффективность в качестве средств профилактики в отношении различных бактериальных патогенов. При этом следует помнить, что принцип универсальности не может быть применён к пробиотикам, поскольку каждый штамм обладает своими индивидуальными особенностями. Следовательно, необходима дальнейшая работа по получению более подробной информации для расширения знаний о действии конкретных пробиотиков на различные виды гидробионтов.

Заключение.

Современные биотехнологические подходы дают возможность использовать полезные функциональные особенности бактерий рода *Bacillus* для производства пробиотиков, оказывающих благотворное воздействие на объекты аквакультуры.

Применение таких добавок является перспективным направлением и обладает высоким потенциалом для повсеместного внедрения в технологию выращивания гидробионтов в России. Это способствовало бы развитию экологически чистой, устойчивой отрасли рыбоводства с низкими затратами для обеспечения продовольственной безопасности населения.

Список источников

1. «Король пробиотиков» *Bacillus coagulans* в современном комбинированном пробиотическом препарате Лактовит Форте (полный обзор) / Т.В. Бомко, А.В. Мартынов, Т.Н. Носальская, Т.В. Каблучко // Annals of Mechnikov Institute. 2016. № 1. С. 17-37. [Bomko TV, Martynov AV, Nosalska TN, Kabluchko TV. «King of probiotics» *Bacillus coagulans* in modern combined probiotic preparations laktovit forte. Annals of Mechnikov Institute. 2016;1:17-37. (In Russ.)]. doi: 10.5281/zenodo.167502
2. Выделение и характеристика бактериоцина штамма *Bacillus subtilis*, изолированного из пассифлоры / В.Д. Похиленко, Т.А. Калмантаев, И.А. Дунайцев, К.В. Дергушев, А.А. Кисличкина, Т.Н. Мухина, И.А. Чукина // Бактериология. 2022. Т. 7. № 1. С. 9-17. [Pokhilenko VD, Kalmantaev TA, Dunaytsev IA, Detushev KV, Kislichkina AA, Mukhina TN, Chukina IA. Isolation and characteristics of bacteriocin from *Bacillus subtilis* strain, isolated from passiflora. Bacteriology. 2022;7(1):9-17. (In Russ.)]. doi: 10.20953/2500-1027-2022-1-9-17

3. Ильяшенко А.Н. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в кормлении крупного рогатого скота // Журнал про корів. 2020. № 11(21). С.31-33. [Il'jashenko AN. Probiotiki na osnove bakterij roda *Bacillus* v kormlenii krupnogo rogatogo skota. Zhurnal pro koriv. 2020;11(21):31-33. (In Russ.)].
4. Любомирова В.Н., Романов В.В., Ракова Л.Ю. Результативность эндогенного и экзогенного использования пробиотика «Споротермин» на разных этапах онтогене за африканского клариевого сома // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4(44). С. 172-177. [Lyubomirova VN, Romanov VV, Rakova LYu. Productivity of endogenous and exogenous use of the pro biotic sporoth ermin at different onto genesis sta ges of african sharptooth catfish. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018;4(44):172-177. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-4501-2018-4-172-177
5. Мурленков Н.В. Пробиотик нового поколения в функциональном питании молочных телят // Вестник аграрной науки. 2019. № 3(78). С. 135-143. [Murlenkov NV. Probiotic of the new generation in the functional food of dairy calves. Bulletin of Agrarian Science. 2019;3(78):135-143. (In Russ.)]. doi: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.135
6. Пробиотики и адаптогены в лечении аэромоноза африканского клариевого сома / Е.М. Романова, В.Н. Любомирова, Л.А. Шадыева, Т.М. Шленкина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4(40). С. 86-93. [Romanova EM, Lyubomirova VN, Shadyeva LA, Shlenkina TM. Probiotics and adaptogenes in the treatment of aeromonosis of african clarium catfish. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2017;4(40):86-93. (In Russ.)]. doi: 10.18286/1816-45-2017-4-86-93
7. Пробиотики на основе бактерий рода *Bacillus* в птицеводстве / Н.В. Феоктистова, А.М. Марданова, Г.Ф. Хадиева, М.Р. Шарипова // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. № 1. С. 85-107. [Feoktistova NV, Mardanova AM, Hadieva GF, Sharipova MR. Probiotics based on bacteria from the genus *Bacillus* in poultry breeding. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki (Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series). 2017;1(159):85-107. (In Russ.)].
8. Пробиотические бациллы в аквакультуре / В.А. Чистяков, А.Б. Брень, Д.В. Рудой, М.А. Егян, Н.А. Куликова // Развитие и современные проблемы аквакультуры (конференция «Аквакультура 2021»): сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (с. Дивноморское, 20-24 сент. 2021 г.). Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ». 2021. С.77-78. [Chistyakov VA, Bren AB, Rudoy DV, Egyan MA, Kulikova NA. Probiotic bacills in aquaculture. (Conference proceedings) Razvitie i sovremennye problemy akvakul'tury» (konferencija «Akvakul'tura 2021»): sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (s. Divnomorskoe, 20-24 sent. 2021 g.). Rostov-na-Donu: ООО «DGTU-PRINT»; 2021:77-78. (In Russ.)].
9. Савустьяненко А.В. Механизмы действия пробиотиков на основе *Bacillus subtilis*. Актуальна інфектологія. 2016. № 2(11). С. 35-44. [Savustyanenko AV. Mechanisms of action of probiotics based on *Bacillus subtilis*. Aktual'na infektologija. 2016;2(11):35-44. (In Russ.)].
10. Филатов А.В., Якимов А.В. Пробиотический комплекс «ЛикваФид» для молодняка свиней на доразивании // Свиноводство. 2021. № 4. С. 32-34. [Filatov AV, Yakimov AV. Probiotic complex "LiquaFid" for rearing pigs. Svinovodstvo. 2021;4:32-34. (In Russ.)]. doi: 10.37925/0039-713X-2021-4-32-34
11. Addo S, Carrias AA, Williams MA, Liles MR, Terhune JS, Davis DA. Effects of *Bacillus subtilis* strains on growth, immune parameters, and *Streptococcus iniae* susceptibility in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Journal of the World Aquaculture Society. 2017;48(2):257-267. doi: 10.1111/jwas.12380
12. Adorian TJ, Jamali H, Farsani HG, Darvishi P, Hasanpour S, Bagheri T, Roozbehfar R. Effects of probiotic bacteria *Bacillus* on growth performance, digestive enzyme activity, and hematological parameters of Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch). Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2019;11(1):248-255. doi: 10.1007/s12602-018-9393-z

13. Afrilasari W, Widanarni, Meryandini A. Effect of probiotic *Bacillus megaterium* PTB 1.4 on the population of intestinal microflora, digestive enzyme activity and the growth of catfish (*Clarias* sp.). *HAYATI Journal of Biosciences*. 2016;23(4):168-172. doi: 10.1016/j.hjb.2016.12.005
14. Amoah K, Huang QC, Tan BP, Zhang S, Chi SY, Yang QH, et al. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus coagulans* ATCC 7050, improves the growth performance, intestinal morphology, microflora, immune response, and disease confrontation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;87:796-808. doi: 10.1016/j.fsi.2019.02.029
15. Ayuningtyas SQ, Zairin JrM, Widanarni. Reproductive performance of catfish *Clarias* sp. with probiotics *Bacillus* sp. NP5 addition through feed. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 2020;19(1):74-83. doi: 10.19027/jai.19.1.74-83
16. Chen L, Lv C, Li B, Zhang H, Ren L, Zhang Q, Zhang X, Gao J, Sun C, Hu S. Effects of *Bacillus velezensis* Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, and Intestine Microbiota of *Litopenaeus vannamei*. *Front Mar Sci*. 2021;8:744281. doi: 10.3389/fmars.2021.744281
17. Diabankana RGC, Afordoanyi DM, Safin RI, Nizamov RM, Karimova LZ, Validov SZ. Antifungal properties, abiotic stress resistance, and biocontrol ability of *Bacillus mojavensis* PS17. *Current Microbiology*. 2021;78(8):3124-3132. doi: 10.1007/s00284-021-02578-7
18. Djahhari R, Widanarni, Sukenda, Suprayudi MA, Zairin JrM. Characterization of *Bacillus* sp. NP5 and its application as probiotic for common carp (*Cyprinus carpio*). *Res J Microbiol*. 2016;11(4-5):101-111. doi: 10.3923/jm.2016.101.111
19. Elshaghabe FMF, Rokana N, Gulhane RD, Sharma C, Panwar H. *Bacillus* as potential probiotics: status, concerns, and future perspectives. *Front. Microbiol*. 2017;8:1490. doi: 10.3389/fmicb.2017.01490
20. Ghosh K, Ray AK, Ringø E. Applications of plant ingredients for tropical and subtropical freshwater finfish: possibilities and challenges. *Reviews in Aquaculture*. 2019;11(3):793-815. doi: 10.1111/raq.12258
21. Han B, Long W, He J, Liu Y, Si Y, Tian L. Effects of dietary *Bacillus licheniformis* on growth performance, immunological parameters, intestinal morphology and resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish & Shellfish Immunology*. 2015;46(2):225-231. doi: 10.1016/j.fsi.2015.06.018
22. Ілляшенко А. Чотири «кити» стійкості. *The Ukrainian Farmer*. 2021:152-153.
23. Kapse NG, Engineer AS, Gowdaman V, Wagh S, Dhakephalkar PK. Genome profiling for health promoting and disease preventing traits unraveled probiotic potential of *Bacillus clausii* B106. *Microbiol. Biotechnol*. 2018;46(4):334-345. doi:10.4014/mbl.1804.04001
24. Kuebutornye FKA, Abarike ED, Lu Y. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish Shellfish Immunol*. 2019;87:820-828. doi: 10.1016/j.fsi.2019.02.010
25. Kumar V, Roy S, Meena DK, Sarkar UK. Application of probiotics in shrimp aquaculture: importance, mechanisms of action, and methods of administration. *Rev. Fish. Sci. Aquac*. 2016;24(4):342-368. doi: 10.1080/23308249.2016.1193841
26. Lee NK, Kim WS, Paik HD. *Bacillus* strains as human probiotics: characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier. *Food science and biotechnology*. 2019;28(5):1297-1305. doi: 10.1007/s10068-019-00691-9
27. Liao SF, Nyachoti M. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Animal Nutrition*. 2017;3(4):331-343. doi:10.1016/j.aninu.2017.06.007
28. Manna S, Chowdhury T, Chakraborty R, Mandal SM. Probiotics-derived peptides and their immunomodulatory molecules can play a preventive role against viral diseases including COVID-19. *Probiotics & Antimicro. Prot*. 2021;13:611-623. doi: 10.1007/s12602-020-09727-7
29. Meidong R, Khotchanalekha K, Doolgindachbaporn S, Nagasawa T, Nakao M, Sakai K, Tongpim S. Evaluation of probiotic *Bacillus aerius* B81e isolated from healthy hybrid catfish on growth, disease resistance and innate immunity of Plamong *Pangasius bocourti*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2018;73:1-10. doi: 10.1016/j.fsi.2017.11.032

30. Melo-Bolívar JF, Ruiz-Pardo RY, Hume ME, Sidjabat HE, Villamil-Diaz LM. Probiotics for cultured freshwater fish. *Microbiology Australia*. 2020;41(2):105-108. doi:10.1071/MA20026
31. Mirbakhsh M, Ghaednia B, Bafroee AST. An in vivo and in vitro assessment of the probiotic potentials of indigenous halotolerant bacteria on growth performance and digestive enzymes of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in high-salinity waters. *Aquaculture Nutrition*. 2022:2704224. doi: 10.1155/2022/2704224
32. Munglue P, Kronghinrach K, Rattana K, Sangchanjiradet S, Dasri K. Effect of dietary *Bacillus pumilus* A1_YM_1 on growth, intestinal morphology and some hematological parameters of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*). *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*. 2019; 24(2):1-8. doi:10.14456/apst.2019.13
33. Mustahal, Sevia, Herjayanto M, Syamsunarno MB, Putra AN. The effect of adding bacillus np5 to feed on growth, survival rate, and protection against *Aeromonas hydrophila* of catfish (*Clarias* sp.). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The 2nd International Conference on Agriculture and Rural Development 16 November 2020, Serang City, Banten, Indonesia. Bristol, England: IOP Publishing; 2021;715:012058. doi: 10.1088/1755-1315/715/1/012058
34. Ngo HT, Nguyen TTN, Nguyen QM, Tran AV, Do HTV, Nguyen AN, Phan T-N, Nguyen ATV. Screening of pigmented *Bacillus aquimaris* SH6 from the intestinal tracts of shrimp to develop a novel feed supplement for shrimp. *J Appl Microbiol*. 2016;121(5):1357-1372. doi: 10.1111/jam.13274
35. Niu K-M, Khosravi S, Kothari D, Lee W-D, Lee B-J, Lim S-G, Hur S-W, Lee S-M, Kim S-K. Potential of indigenous *Bacillus* spp. as probiotic feed supplements in an extruded low-fishmeal diet for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J World Aquacult Soc*. 2021;52:244-261. doi: 10.1111/jwas.12724
36. Niu KM, Kothari D, Lee WD, Lim JM, Khosravi S, Lee SM, Lee BJ, Kim KW, Han HS, Kim SK. Autochthonous *Bacillus licheniformis*: probiotic potential and survival ability in low-fishmeal extruded pellet aquafeed. *Microbiologyopen*. 2019;8(6):e00767. doi: 10.1002/mbo3.767
37. Parmar K, Siddiqui A, Nugent K. *Bacillus calmette-guerin* vaccine and nonspecific immunity. *The Am J Med Sci*. 2021;361(6):683-689. doi: 10.1016/j.amjms.2021.03.003
38. Phung LT, Phung NK, Phuong TTM, Nicolas M, Vincent M, Sandra A, Philippe DSJ. Effect of *Bacillus* sp. as probiotic on the treatment of environment in brackish water shrimp aquaculture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering:5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology (ICCEIB 2020) 9-11 August 2020, Kuala Lumpur, Malaysia. Bristol, England: IOP Publishing; 2020;991:012052. doi: 10.1088/1757-899X/991/1/012052
39. Pronina G, Shishanova E, Isaev D, Tarazanova TV, Prokhorov AA. Improving the aquatic organisms immune resistance with probiotics for the aquaculture sustainable development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;937(3):032031. doi: 10.1088/1755-1315/937/3/032031
40. Putra AN, Mustahal, Syamsunarno MB, Hermawan D, Fatimah DG, Putri PB, Sevia, Isnaini R, Herjayanto M. Dietary *Bacillus* NP5 supplement impacts on growth, nutrient digestibility, immune response, and resistance to *Aeromonas hydrophila* infection of African Catfish, *Clarias gariepinus*. *Biodiversitas*. 2021;1(22): 253-261. doi: 10.13057/biodiv/d220131
41. Qin L, Xiang J, Xiong F, Wang G, Zou H, Li W, Li M, Wu S. Effects of *Bacillus licheniformis* on the growth, antioxidant capacity, intestinal barrier and disease resistance of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;97:344-350. doi: 10.1016/j.fsi.2019.12.040
42. Ramesh D, Souissi S, Ahamed TS. Effects of the potential probiotics *Bacillus aerophilus* KADR3 in inducing immunity and disease resistance in *Labeo rohita*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017;70:408-415. doi: 10.1016/j.fsi.2017.09.037
43. Romanova E, Spirina E, Romanov V, Lyubomirova V, Shadyeva L. Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on catfish in industrial aquaculture. E3S Web of Conferences. XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020». 2020;175:02013. doi: 10.1051/e3sconf/202017502013

44. Salas-Jara MJ, Ilabaca A, Vega M, García A. Biofilm forming lactobacillus: new challenges for the development of probiotics. *Microorganisms*. 2016;4(3):35. doi:10.3390/microorganisms4030035
45. Soltani M, Ghosh K, Hoseinifar SH, Kumar V, Lymbery AJ, Roy S, Ringø E. Genus bacillus, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bio-remediation and efficacy in fish and shellfish, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2019;27(3):331-379. doi: 10.1080/23308249.2019.1597010
46. Subedi B, Shrestha A. A review: Application of probiotics in aquaculture. *International Journal of Forest, Animal and Fisheries Research*. 2020;4(5):52-60.
47. Widanarni, Rahmi D, Gustilatov M, Sukenda, Utami DAS. Immune responses and resistance of white shrimp *Litopenaeus vannamei* administered *Bacillus* sp. NP5 and honey against white spot syndrome virus infection. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 2020;19(2):118-130. doi: 10.19027/jai.19.2.118-130
48. Won S, Hamidoghli A, Choi W, Park Y, Jang WJ, Kong I-S, Bai SC. Effects of *Bacillus subtilis* WB60 and *Lactococcus lactis* on growth, immune responses, histology and gene expression in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Microorganisms*. 2020;8(1):67. doi: 10.3390/microorganisms8010067
49. Xiao Y, Zou H, Li J, Song T, Lv W, Wang W, Wang Z, Tao S. Impact of quorum sensing signaling molecules in gram-negative bacteria on host cells: current understanding and future perspectives. *Gut Microbes*. 2022;14(1):2039048. doi: 10.1080/19490976.2022.2039048
50. Xiaolong G, Caihuan K, Zhang M, Li X, Han Y, Wu F, Liu Y. Effects of the probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth, immunity, and disease resistance of *Haliotis discus hannai*. *Fish & shellfish immunology*. 2019;94:617-627. doi: 10.1016/j.fsi.2019.08.067
51. Xue M, Wu Y, Hong Y, Meng Y, Xu C, Jiang N, Li Y, Liu W, Fan Y, Zhou Y. Effects of dietary *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth, immune responses, intestinal microbiota composition and disease resistance of yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco*. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:1047351. doi: 10.3389/fcimb.2022.1047351
52. Yan YY, Xia HQ, Yang HL, Hoseinifar SH, Sun YZ. Effects of dietary live or heat-inactivated autochthonous *Bacillus pumilus* SE5 on growth performance, immune responses and immune gene expression in grouper *Epinephelus coioides*. *Aquaculture Nutrition*. 2016;22(3):698-707. doi: 10.1111/anu.12297

References

1. Bomko TV, Martynov AV, Nosalska TN, Kabluchko TV. «King of probiotics» *Bacillus coagulans* in modern combined probiotic preparations laktovit forte. *Annals of Mechnikov Institute*. 2016;1:17-37. doi:10.5281/zenodo.167502
2. Pokhilenko VD, Kalmantsev TA, Dunaytsev IA, Detushev KV, Kislichkina AA, Mukhina TN, Chukina IA. Isolation and characteristics of bacteriocin from *Bacillus subtilis* strain, isolated from passiflora. *Bacteriology*. 2022;7(1):9-17. doi: 10.20953/2500-1027-2022-1-9-17
3. Il'jashenko AN. Probiotics based on bacteria of *Bacillus* genus in cattle feeding. *Journal about cows*. 2020;11(21):31-33.
4. Lyubomirova VN, Romanov VV, Rakova LYu. Productivity of endogenous and exogenous use of the probiotic sporothermin at different onto genesis stages of african sharp-tooth catfish. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;4(44):172-177. doi: 10.18286/1816-4501-2018-4-172-177
5. Murlenkov NV. Probiotic of the new generation in the functional food of dairy calves. *Bulletin of Agrarian Science*. 2019;3(78):135-143. doi: 10.15217/issn2587-666X.2019.3.135
6. Romanova EM, Lyubomirova VN, Shadyeva LA, Shlenkina TM. Probiotics and adaptogenes in the treatment of aeromonosis of african clarium catfish. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017;4(40):86-93. doi: 10.18286/1816-45-2017-4-86-93
7. Feoktistova NV, Mardanova AM, Hadieva GF, Sharipova MR. Probiotics based on bacteria from the genus *Bacillus* in poultry breeding. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki (Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)*. 2017;1(159):85-107.

8. Chistyakov VA, Bren AB, Rudoy DV, Egyan MA, Kulikova NA. Probiotic bacilli in aquaculture. (Conference proceedings) Development and current problems in aquaculture (Conference «Ak-vakul'tura 2021»): Digest of scientific works. International scientific and research conference (v. Divno-morskoe, 20-24 September 2021). Rostov-na-Donu: «DGTU-PRINT» Ltd.; 2021:77-78.
9. Savustyanenko AV. Mechanisms of action of probiotics based on *Bacillus subtilis*. *Actual Infectology*. 2016;2(11):35-44.
10. Filatov AV, Yakimov AV. Probiotic complex "LiquaFid" for rearing pigs. *Pigbreeding*. 2021;4:32-34. doi: 10.37925/0039-713X-2021-4-32-34
11. Addo S, Carrias AA, Williams MA, Liles MR, Terhune JS, Davis DA. Effects of *Bacillus subtilis* strains on growth, immune parameters, and *Streptococcus iniae* susceptibility in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2017;48(2):257-267. doi: 10.1111/jwas.12380
12. Adorian TJ, Jamali H, Farsani HG, Darvishi P, Hasanpour S, Bagheri T, Roozbehfar R. Effects of probiotic bacteria *Bacillus* on growth performance, digestive enzyme activity, and hematological parameters of Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch). *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2019;11(1):248-255. doi: 10.1007/s12602-018-9393-z
13. Afrilasari W, Widanarni, Meryandini A. Effect of probiotic *Bacillus megaterium* PTB 1.4 on the population of intestinal microflora, digestive enzyme activity and the growth of catfish (*Clarias* sp.). *HAYATI Journal of Biosciences*. 2016;23(4):168-172. doi: 10.1016/j.hjb.2016.12.005
14. Amoah K, Huang QC, Tan BP, Zhang S, Chi SY, Yang QH, et al. Dietary supplementation of probiotic *Bacillus coagulans* ATCC 7050, improves the growth performance, intestinal morphology, microflora, immune response, and disease confrontation of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;87:796-808. doi: 10.1016/j.fsi.2019.02.029
15. Ayuningtyas SQ, Zairin JrM, Widanarni. Reproductive performance of catfish *Clarias* sp. with probiotics *Bacillus* sp. NP5 addition through feed. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 2020;19(1):74-83. doi: 10.19027/jai.19.1.74-83
16. Chen L, Lv C, Li B, Zhang H, Ren L, Zhang Q, Zhang X, Gao J, Sun C, Hu S. Effects of *Bacillus velezensis* Supplementation on the Growth Performance, Immune Responses, and Intestine Microbiota of *Litopenaeus vannamei*. *Front Mar Sci*. 2021;8:744281. doi: 10.3389/fmars.2021.744281
17. Diabankana RGC, Afordoanyi DM, Safin RI, Nizamov RM, Karimova LZ, Validov SZ. Antifungal properties, abiotic stress resistance, and biocontrol ability of *Bacillus mojavensis* PS17. *Current Microbiology*. 2021;78(8):3124-3132. doi: 10.1007/s00284-021-02578-7
18. Djauhari R, Widanarni, Sukenda, Suprayudi MA, Zairin JrM. Characterization of *Bacillus* sp. NP5 and its application as probiotic for common carp (*Cyprinus carpio*). *Res J Microbiol*. 2016;11(4-5):101-111. doi: 10.3923/jm.2016.101.111
19. Elshaghabee FMF, Rokana N, Gulhane RD, Sharma C, Panwar H. *Bacillus* as potential probiotics: status, concerns, and future perspectives. *Front. Microbiol*. 2017;8:1490. doi: 10.3389/fmicb.2017.01490
20. Ghosh K, Ray AK, Ringø E. Applications of plant ingredients for tropical and subtropical freshwater finfish: possibilities and challenges. *Reviews in Aquaculture*. 2019;11(3):793-815. doi: 10.1111/raq.12258
21. Han B, Long W, He J, Liu Y, Si Y, Tian L. Effects of dietary *Bacillus licheniformis* on growth performance, immunological parameters, intestinal morphology and resistance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish & Shellfish Immunology*. 2015;46(2):225-231. doi: 10.1016/j.fsi.2015.06.018
22. Ілляшенко А. Чотири «кити» стійкості. *The Ukrainian Farmer*. 2021:152-153.
23. Kapse NG, Engineer AS, Gowdaman V, Wagh S, Dhakephalkar PK. Genome profiling for health promoting and disease preventing traits unraveled probiotic potential of *Bacillus clausii* B106. *Microbiol. Biotechnol*. 2018;46(4):334-345. doi:10.4014/mbl.1804.04001

24. Kuebutornye FKA, Abarike ED, Lu Y. A review on the application of Bacillus as probiotics in aquaculture. *Fish Shellfish Immunol.* 2019;87:820-828. doi: 10.1016/j.fsi.2019.02.010
25. Kumar V, Roy S, Meena DK, Sarkar UK. Application of probiotics in shrimp aquaculture: importance, mechanisms of action, and methods of administration. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 2016;24(4):342-368. doi: 10.1080/23308249.2016.1193841
26. Lee NK, Kim WS, Paik HD. Bacillus strains as human probiotics: characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier. *Food science and biotechnology.* 2019;28(5): 1297-1305. doi: 10.1007/s10068-019-00691-9
27. Liao SF, Nyachoti M. Using probiotics to improve swine gut health and nutrient utilization. *Animal Nutrition.* 2017;3(4):331-343. doi:10.1016/j.aninu.2017.06.007
28. Manna S, Chowdhury T, Chakraborty R, Mandal SM. Probiotics-derived peptides and their immunomodulatory molecules can play a preventive role against viral diseases including COVID-19. *Probiotics & Antimicro. Prot.* 2021;13:611-623. doi: 10.1007/s12602-020-09727-7
29. Meidong R, Khotchanalekha K, Doolgindachbaporn S, Nagasawa T, Nakao M, Sakai K, Tongpim S. Evaluation of probiotic Bacillus aerius B81e isolated from healthy hybrid catfish on growth, disease resistance and innate immunity of Plamong Pangasius bocourti. *Fish & Shellfish Immunology.* 2018;73:1-10. doi: 10.1016/j.fsi.2017.11.032
30. Melo-Bolivar JF, Ruiz-Pardo RY, Hume ME, Sidjabat HE, Villamil-Diaz LM. Probiotics for cultured freshwater fish. *Microbiology Australia.* 2020;41(2):105-108. doi:10.1071/MA20026
31. Mirbakhsh M, Ghaednia B, Bafroee AST. An in vivo and in vitro assessment of the probiotic potentials of indigenous halotolerant bacteria on growth performance and digestive enzymes of white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in high-salinity waters. *Aquaculture Nutrition.* 2022;2704224. doi: 10.1155/2022/2704224
32. Munglue P, Kronghinrach K, Rattana K, Sangchanjiradet S, Dasri K. Effect of dietary Bacillus pumilus A1_YM_1 on growth, intestinal morphology and some hematological parameters of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *Clarias gariepinus*). *Asia-Pacific Journal of Science and Technology.* 2019; 24(2):1-8. doi:10.14456/apst.2019.13
33. Mustahal, Sevia, Herjayanto M, Syamsunarno MB, Putra AN. The effect of adding bacillus np5 to feed on growth, survival rate, and protection against *Aeromonas hydrophila* of catfish (*Clarias* sp.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The 2nd International Conference on Agriculture and Rural Development 16 November 2020, Serang City, Banten, Indonesia.* Bristol, England: IOP Publishing; 2021;715:012058. doi: 10.1088/1755-1315/715/1/012058
34. Ngo HT, Nguyen TTN, Nguyen QM, Tran AV, Do HTV, Nguyen AN, Phan T-N, Nguyen ATV. Screening of pigmented Bacillus aquimaris SH6 from the intestinal tracts of shrimp to develop a novel feed supplement for shrimp. *J Appl Microbiol.* 2016;121(5):1357-1372. doi: 10.1111/jam.13274
35. Niu K-M, Khosravi S, Kothari D, Lee W-D, Lee B-J, Lim S-G, Hur S-W, Lee S-M, Kim S-K. Potential of indigenous Bacillus spp. as probiotic feed supplements in an extruded low-fishmeal diet for juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J World Aquacult Soc.* 2021;52:244-261. doi: 10.1111/jwas.12724
36. Niu KM, Kothari D, Lee WD, Lim JM, Khosravi S, Lee SM, Lee BJ, Kim KW, Han HS, Kim SK. Autochthonous Bacillus licheniformis: probiotic potential and survival ability in low-fishmeal extruded pellet aquafeed. *Microbiologyopen.* 2019;8(6):e00767. doi: 10.1002/mbo3.767
37. Parmar K, Siddiqui A, Nugent K. Bacillus calmette-guerin vaccine and nonspecific immunity. *The Am J Med Sci.* 2021;361(6):683-689. doi: 10.1016/j.amjms.2021.03.003
38. Phung LT, Phung NK, Phuong TTM, Nicolas M, Vincent M, Sandra A, Philippe DSJ. Effect of Bacillus sp. as probiotic on the treatment of environment in brackish water shrimp aquaculture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering:5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology (ICCEIB 2020) 9-11 August 2020, Kuala Lumpur, Malaysia.* Bristol, England: IOP Publishing; 2020;991:012052. doi: 10.1088/1757-899X/991/1/012052
39. Pronina G, Shishanova E, Isaev D, Tarazanova TV, Prokhorov AA. Improving the aquatic organisms immune resistance with probiotics for the aquaculture sustainable development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2021;937(3):032031. doi: 10.1088/1755-1315/937/3/032031
40. Putra AN, Mustahal, Syamsunarno MB, Hermawan D, Fatimah DG, Putri PB, Sevia, Isnaini R, Herjayanto M. Dietary Bacillus NP5 supplement impacts on growth, nutrient digestibility, immune response,

and resistance to *Aeromonas hydrophila* infection of African Catfish, *Clarias gariepinus*. *Biodiversitas*. 2021;1(22): 253-261. doi: 10.13057/biodiv/d220131

41. Qin L, Xiang J, Xiong F, Wang G, Zou H, Li W, Li M, Wu S. Effects of *Bacillus licheniformis* on the growth, antioxidant capacity, intestinal barrier and disease resistance of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;97:344-350. doi: 10.1016/j.fsi.2019.12.040

42. Ramesh D, Souissi S, Ahamed TS. Effects of the potential probiotics *Bacillus aerophilus* KADR3 in inducing immunity and disease resistance in *Labeo rohita*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017;70:408-415. doi: 10.1016/j.fsi.2017.09.037

43. Romanova E, Spirina E, Romanov V, Lyubomirova V, Shadyeva L. Effects of *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on catfish in industrial aquaculture. E3S Web of Conferences. XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020». 2020;175:02013. doi: 10.1051/e3sconf/202017502013

44. Salas-Jara MJ, Ilabaca A, Vega M, García A. Biofilm forming lactobacillus: new challenges for the development of probiotics. *Microorganisms*. 2016;4(3):35. doi:10.3390/microorganisms4030035

45. Soltani M, Ghosh K, Hoseinifar SH, Kumar V, Lymbery AJ, Roy S, Ringø E. Genus *Bacillus*, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bio-remediation and efficacy in fish and shellfish, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2019;27(3):331-379. doi: 10.1080/23308249.2019.1597010

46. Subedi B, Shrestha A. A review: Application of probiotics in aquaculture. *International Journal of Forest, Animal and Fisheries Research*. 2020;4(5):52-60.

47. Widanarni, Rahmi D, Gustilatov M, Sukenda, Utami DAS. Immune responses and resistance of white shrimp *Litopenaeus vannamei* administered *Bacillus* sp. NP5 and honey against white spot syndrome virus infection. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 2020;19(2):118-130. doi: 10.19027/jai.19.2.118-130

48. Won S, Hamidoghli A, Choi W, Park Y, Jang WJ, Kong I-S, Bai SC. Effects of *Bacillus subtilis* WB60 and *Lactococcus lactis* on growth, immune responses, histology and gene expression in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Microorganisms*. 2020;8(1):67. doi: 10.3390/microorganisms8010067

49. Xiao Y, Zou H, Li J, Song T, Lv W, Wang W, Wang Z, Tao S. Impact of quorum sensing signaling molecules in gram-negative bacteria on host cells: current understanding and future perspectives. *Gut Microbes*. 2022;14(1):2039048. doi: 10.1080/19490976.2022.2039048

50. Xiaolong G, Caihuan K, Zhang M, Li X, Han Y, Wu F, Liu Y. Effects of the probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth, immunity, and disease resistance of *Haliotis discus hannai*. *Fish & shellfish immunology*. 2019;94:617-627. doi: 10.1016/j.fsi.2019.08.067

51. Xue M, Wu Y, Hong Y, Meng Y, Xu C, Jiang N, Li Y, Liu W, Fan Y, Zhou Y. Effects of dietary *Bacillus amyloliquefaciens* on the growth, immune responses, intestinal microbiota composition and disease resistance of yellow catfish, *Pelteobagrus fulvidraco*. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:1047351. doi: 10.3389/fcimb.2022.1047351

52. Yan YY, Xia HQ, Yang HL, Hoseinifar SH, Sun YZ. Effects of dietary live or heat-inactivated autochthonous *Bacillus pumilus* SE5 on growth performance, immune responses and immune gene expression in grouper *Epinephelus coioides*. *Aquaculture Nutrition*. 2016;22(3):698-707. doi: 10.1111/anu.12297

Информация об авторах:

Артур Николаевич Ильяшенко, кандидат биологических наук, научный консультант по кормлению животных, Bioproton PTY Ltd, 127322, г. Москва, ул. Милашенкова, 15, тел.: 8(909)912-77-31.

Information about the authors:

Arthur N Pyashenko, Cand. Sci. (Biology), Scientific Consultant on Animal Feeding, Bioproton PTY Ltd, 127322, Moscow, Milashenkova str., 15, tel.: 8(909)912-77-31.

Статья поступила в редакцию 23.11.2022; одобрена после рецензирования 05.12.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 23.11.2022; approved after reviewing 05.12.2022; accepted for publication 12.12.2022.