

УДК [579.842.13:574.583]  
ББК [28.492:28.083.66]

О. В. Обухова, Л. В. Ларцева, И. А. Лисицкая

### ФАКТОРЫ ПАТОГЕННОСТИ УСЛОВНО-ПАТОГЕННЫХ ЭНТЕРОБАКТЕРИЙ В ГИДРОЭКОСИСТЕМЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ

O. V. Obukhova, L. V. Lartseva, I. A. Lisitskaya

### PATHOGENICITY FACTORS OF OPPORTUNISTIC ENTERIC BACTERIA IN HYDROECOSYSTEMS OF THE VOLGA RIVER DELTA

Представлены результаты исследования факторов патогенности энтеробактерий, выделенных из судака и воды в местах его обитания. Они были доминирующими в микробном пейзаже данных биотопов. Анализ показал, что все изолированные бактерии обладали набором тестируемых факторов патогенности (каталаза, реакция Фогеса – Проскауэра, уреазы, гемолизин, лецитиназа, протеаза, рост при температуре +37 °С) со значительной долей вариабельности. Максимальные значения у водных и рыбных штаммов отмечены по способности их роста при температуре +37 °С и наличию каталазы; минимальные – по реакции Фогеса – Проскауэра. Согласно результатам многолетнего мониторинга (1995–2010 гг.), существует прямая связь по персистентным признакам между встречаемостью условно-патогенных энтеробактерий и ростом их патогенности с пиком экспрессии в летний сезон. Показано, что маркеры патогенности имели максимальную частоту встречаемости у протеев, цитробактеров и энтеробактеров в биопродиле этого семейства. Штаммы, выделенные из воды, характеризовались повышенными показателями патогенности по сравнению со штаммами рыб во все сезоны года, что свидетельствует об их потенциальной эпидемиологической опасности. Полученные данные возможно использовать в качестве базовой информации для мониторингирования гидроэкосистемы.

**Ключевые слова:** энтеробактерии, патогенность, гидроэкосистема, микрофлора, вода, рыба.

The results of the study of pathogenicity factors of enteric bacteria isolated from water and perch in its habitat are presented. The enteric bacteria were dominant in the microbial landscape of these habitats. The analysis has shown that bacteria isolated from the above environmental niches, had a set of tested pathogenicity factors (catalase, Voges – Proskauer reaction, urease hemolysin lecithinase, protease, growth at +37 °C) with considerable variability. The maximum values of aquatic and fish strains are marked by the ability of their growth at +37 °C and the presence of catalase; the minimum – by Voges – Proskauer reaction. According to the results of long-term monitoring (1995 to 2010) it is stated that opportunistic enteric bacteria by persistent signs had a direct relationship between their occurrence and growth of their pathogenicity with peak expression during the summer season. It is shown that the pathogenicity markers had the highest frequency of occurrence in *Proteus*, citric bacteria and enteric bacteria in bioprofile of this family. Strains isolated from the water were characterized by higher rates of pathogenicity, compared with fish strains in all seasons of the year, which indicates their potential epidemiological risk. The obtained data can be used as a reference for monitoring hydroecosystems.

**Key words:** enteric bacteria, pathogenicity, hydroecosystem, flora, water, fish.

За последние четверть века накоплены данные, подтверждающие концепцию об «универсальности факторов патогенности» микроорганизмов [1–5]. Они свидетельствуют о том, что условно-патогенные микроорганизмы, циркулирующие в природных экосистемах, обладают определенным потенциалом патогенности. Как возбудители сапронозов, они весьма адаптивны к постоянно меняющимся факторам окружающей среды, и их массовое развитие может вызывать развитие заболеваний с различной локализацией, но преимущественно кишечной [6–11].

Результаты многолетнего мониторинга (1995–2010 гг.) в дельте р. Волги показали, что энтеробактерии, зарегистрированные в бактериоценозе судака и воды в местах его обитания, были доминирующими. Среди многочисленных представителей этого семейства бактерии р. *Citrobacter* обсеменяли воду и рыбу в 24,0 ± 1,0 и 22,3 % проб соответственно; бактерии р. *Proteus* – в 27,0 ± 0,8

и  $30,6 \pm 0,9$  % проб. Субдоминантами в микробном пейзаже энтеробактерий были представители р. *Enterobacter*, выделенные из воды и рыбы в  $12,8 \pm 0,9$  и  $17,0 \pm 0,7$  % проб. К второстепенным по шкале Е. В. Ангановой [10] отнесены водные штаммы эдвардсиелл – 10,6 %, провиденсий – 6,4 %, морганелл – 6,7 % и эшерихий – 5,7 % проб; рыбные изоляты провиденсий – 13,4 %, эдвардсиелл – 7,1 % и эшерихий – 4,2 % проб. Водные штаммы клебсиелл и сальмонелл характеризовались низкими показателями встречаемости – по 3,5 % проб; рыбные штаммы этих видов в бактериоценозе судака составляли 0,1 и 2,6 % проб соответственно. В воде клебсиеллы встречались единичными штаммами, поэтому проводить анализ факторов их патогенности некорректно. В удельном весе всех выделенных энтеробактерий в воде они были зарегистрированы в  $24,0 \pm 0,6$  %, в рыбе –  $25,2 \pm 0,4$  % проб. Основными биотопами всех выделенных нами энтеробактерий в рыбе были желудочно-кишечный тракт –  $29,8 \pm 0,6$  % и жабыры –  $24,9 \pm 0,7$  % проб.

Данные по средним значениям персистентных свойств, без учета сезонной динамики, свидетельствуют об их незначительных различиях ( $p < 0,05$ ) у водных и рыбных штаммов – они отличались в 1,0–1,2 раза, с превалированием у водных изолятов (рис. 1).

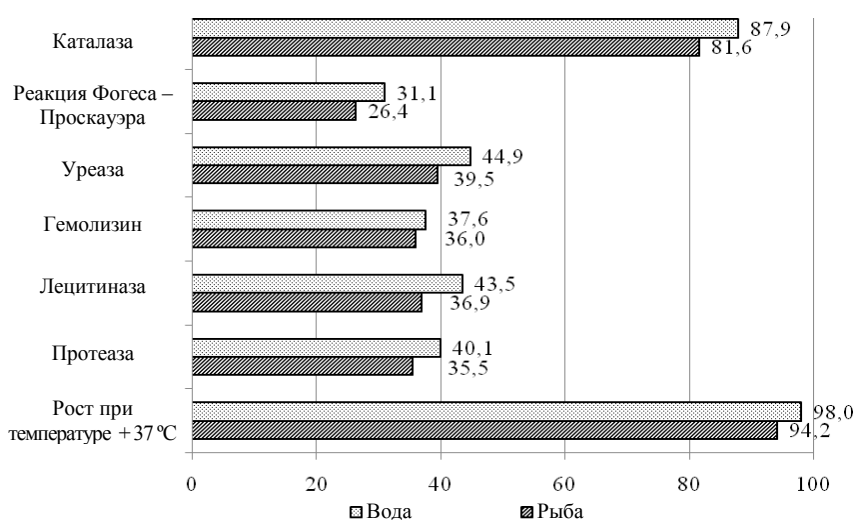


Рис. 1. Средние показатели факторов патогенности исследуемых энтеробактерий

Данные, приведенные на рис. 1 и в табл. 1 и 2, показали, что энтеробактерии обладали набором тестируемых факторов патогенности со значительной долей вариабельности. Максимальные значения у водных и рыбных штаммов отмечены по способности их роста при температуре +37 °С и наличию каталазы; минимальные – по реакции Фогеса – Проскауэра.

Все штаммы протеев, цитробактеров и энтеробактеров, изолированные из воды и рыбы, показали высокую **способность к росту** при температуре +37 °С, независимо от сезона года (табл. 1, 2). Исключение составили эдвардсиеллы, которые вегетировали в обоих биотопах в 100 % случаев только в летний период, весной и осенью показатели роста снижались – рыбных штаммов в 1,3, водных – в 1,1 раза ( $p < 0,05$ ). Подобная тенденция была характерна и для морганелл. Водные и рыбные штаммы этих видов бактерий в 100 % случаев вегетировали при температуре + 37 °С только летом ( $p < 0,05$ ), весной и осенью их активность снижалась: у рыбных штаммов – в 1,3 и 1,2 раза; у водных – в 1,3 и 1,10 раза соответственно (табл. 1, 2).

Провиденсии, выделенные из рыбы, обнаруживали рост при температуре +37 °С в 75,0 % случаев весной; летом показатели роста увеличивались в 1,3 раза, осенью оставались почти на одном уровне ( $p < 0,05$ ). Водные штаммы этого вида энтеробактерий весной были «инертнее», чем летом и осенью в 1,2 раза (табл. 1, 2). Таким образом, все виды и штаммы энтеробактерий, циркулирующие в воде и рыбе, способны к активному росту при температуре +37 °С, особенно в летний и осенний сезоны, совпадают с пиками их персистенции в этих эконишах, чем обуславливают свою эпидемиологическую значимость, особенно в эти периоды года.

Сезонная динамика факторов патогенности энтеробактерий, выделенных из воды

| Тестируемые микроорганизмы     | Сезон года | Рост при температуре +37 °С | Протеаза | Лецитиназа | Гемолизин | Уреаза | Реакция Фоггеса – Проскауэра | Каталаза |
|--------------------------------|------------|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|------------------------------|----------|
|                                |            |                             |          |            |           |        |                              |          |
| <i>Citrobacter</i> spp.        | Весна      | 100,0                       | 30,1     | 22,6       | 12,8      | –      | –                            | 46,9     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 32,6     | 40,0       | 29,1      | 13,8   | 48,9                         | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 28,1     | 52,3       | 16,8      | 32,0   | 39,6                         | 92,9     |
| <i>Citrobacter freundii</i>    | Весна      | 100,0                       | 34,0     | 29,5       | 47,2      | 32,2   | 36,5                         | 88,8     |
|                                | Лето       | 100,0                       | –        | 40,0       | 25,5      | 60,4   | 32,0                         | 97,5     |
|                                | Осень      | 100,0                       | 13,2     | 32,8       | 23,8      | 24,6   | 38,9                         | 74,1     |
| <i>Edwardsiella tarda</i>      | Весна      | 97,5                        | –        | –          | –         | –      | –                            | 60,1     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 23,8     | 24,1       | –         | –      | –                            | 96,2     |
|                                | Осень      | 97,9                        | –        | –          | –         | –      | –                            | 65,7     |
| <i>Enterobacter cloacea</i>    | Весна      | 100,0                       | 30,1     | 88,2       | 29,0      | 52,9   | 21,8                         | 100,0    |
|                                | Лето       | 100,0                       | 30,2     | 60,6       | 75,8      | 48,5   | 72,5                         | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 30,0     | 100,0      | –         | 65,3   | 32,5                         | 100,0    |
| <i>Morganella morganii</i>     | Весна      | 74,2                        | –        | –          | –         | –      | –                            | 82,5     |
|                                | Лето       | 100,0                       | –        | –          | –         | 31,9   | 30,1                         | 30,5     |
|                                | Осень      | 96,1                        | –        | 30,1       | 26,0      | 88,5   | 29,8                         | 100,0    |
| <i>Proteus mirabilis</i>       | Весна      | 100,0                       | 98,8     | 54,6       | 50,9      | 54,8   | 90,9                         | 88,2     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 96,5     | 80,0       | 65,9      | 86,8   | 55,2                         | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 75,0     | 60,2       | 75,8      | 100,0  | 32,5                         | 99,1     |
| <i>Proteus vulgaris</i>        | Весна      | 100,0                       | 100,0    | –          | 31,8      | 100,0  | 55,0                         | 100,0    |
|                                | Лето       | 100,0                       | 100,0    | 93,4       | 90,0      | 100,0  | 72,1                         | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 100,0    | 56,3       | 51,5      | 100,0  | 59,2                         | 100,0    |
| <i>Providencia alcaligenis</i> | Весна      | 82,5                        | 35,3     | 44,9       | 50,9      | 28,3   | –                            | 100,0    |
|                                | Лето       | 100,0                       | 46,2     | 60,1       | 100,0     | 37,0   | –                            | 98,4     |
|                                | Осень      | 100,0                       | 57,7     | 73,2       | 99,5      | 20,1   | –                            | 89,2     |
| Средние данные                 | Весна      | 94,3                        | 41       | 30         | 27,8      | 33,5   | 25,5                         | 83,3     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 41,2     | 49,8       | 48,3      | 47,3   | 38,9                         | 90,3     |
|                                | Осень      | 99,3                        | 38       | 50,6       | 36,7      | 53,8   | 29                           | 90,1     |

**Протеолитическая активность** в исследуемых биотопах зарегистрирована во все сезоны года в  $75,0 \pm 0,8$  % случаев. Однако ее значения были весьма переменными в зависимости как от вида исследуемых энтеробактерий, так и от сезона года (табл. 1, 2). Максимальными значениями этого патогенного признака характеризовались бактерии группы *протей* – *Pr. mirabilis* и *Pr. vulgaris*. Минимальные значения отмечены у цитробактеров и энтеробактеров. У этих последних видов и штаммов, а также у провиденсий протеолитическая активность была замедленной, особенно в осенний сезон. Морганеллы, выделенные из воды и рыбы, по отношению к протеазе были всегда инертными, что обусловлено их биохимическими особенностями. Протеоли-

тическая активность водных и рыбных штаммов эдвардсиелл проявлялась только летом и характеризовалась незначительными показателями. Если у *Pr. vulgaris* этот патогенный признак во все сезоны года был на уровне 100 %, то у *Pr. mirabilis* отмечено его динамичное снижение у рыбных и водных штаммов от весны к лету в 1,1 и от лета к осени в 1,3 раза ( $p < 0,05$ ). Для водных и рыбных штаммов провиденсий был характерен линейный рост значений протеазы от весны к лету в 1,3 и 1,2 раза соответственно и от лета к осени – в 1,2 раза в обоих эконишах (табл. 1, 2), что было статистически достоверно ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2

Сезонная динамика факторов патогенности энтеробактерий, выделенных из рыбы

| Тестируемые микроорганизмы     | Сезон года | Рост при температуре +37 °С | Протеаза | Лецитиназа | Гемолизин | Уреаза | Реакция Фоггеса – Проксаура | Каталаза |
|--------------------------------|------------|-----------------------------|----------|------------|-----------|--------|-----------------------------|----------|
|                                |            |                             |          |            |           |        |                             |          |
| <i>Citrobacter</i> spp.        | Весна      | 100,0                       | 25,0     | 20,4       | 12,5      | –      | –                           | 42,8     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 25,1     | 33,3       | 27,5      | 12,5   | 44,4                        | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 20,1     | 40,2       | 16,7      | 26,7   | 33,3                        | 71,4     |
| <i>Citrobacter freundii</i>    | Весна      | 100,0                       | 31,3     | 26,8       | 47,0      | 29,4   | 33,3                        | 73,7     |
|                                | Лето       | 100,0                       | –        | 33,3       | 25,0      | 50,3   | 26,7                        | 88,8     |
|                                | Осень      | 100,0                       | 11,1     | 25,2       | 23,0      | 18,8   | 27,8                        | 52,9     |
| <i>Edwardsiella tarda</i>      | Весна      | 75,0                        | –        | –          | –         | –      | –                           | 50,1     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 20,0     | 20,0       | –         | –      | –                           | 80,0     |
|                                | Осень      | 75,4                        | –        | –          | –         | –      | –                           | 50,0     |
| <i>Enterobacter cloacea</i>    | Весна      | 100,0                       | 20,0     | 80,2       | 28,8      | 50,4   | 20,0                        | 100,0    |
|                                | Лето       | 100,0                       | 25,0     | 50,0       | 75,1      | 40,4   | 60,2                        | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 25,0     | 100,0      | –         | 50,2   | 25,0                        | 100,0    |
| <i>Morganella morganii</i>     | Весна      | 61,8                        | –        | –          | –         | –      | –                           | 80,1     |
|                                | Лето       | 100,0                       | –        | –          | –         | 26,6   | 25,1                        | 25,4     |
|                                | Осень      | 80,1                        | –        | 25,1       | 25,6      | 80,4   | 25,0                        | 100,0    |
| <i>Proteus mirabilis</i>       | Весна      | 100,0                       | 90,1     | 50,0       | 50,0      | 50,0   | 82,6                        | 80,0     |
|                                | Лето       | 100,0                       | 80,4     | 66,7       | 65,4      | 72,9   | 50,1                        | 100,0    |
|                                | Осень      | 100,0                       | 62,5     | 50,1       | 75,2      | 87,5   | 25,0                        | 83,3     |
| <i>Proteus vulgaris</i>        | Весна      | 100,0                       | 100,0    | –          | 31,2      | 100,0  | 50,1                        | 100,0    |
|                                | Лето       | 100,0                       | 100,0    | 77,8       | 88,9      | 100,0  | 60,0                        | 87,5     |
|                                | Осень      | 100,0                       | 100,0    | 37,5       | 50,1      | 77,8   | 45,5                        | 100,0    |
| <i>Providencia alcaligenis</i> | Весна      | 75,0                        | 32,1     | 41,6       | 50,0      | 25,7   | –                           | 100,0    |
|                                | Лето       | 97,0                        | 38,5     | 50,0       | 91,8      | 30,8   | –                           | 81,8     |
|                                | Осень      | 96,1                        | 44,4     | 56,3       | 76,5      | 16,7   | –                           | 68,6     |
| Средние данные                 | Весна      | 89,0                        | 31,3     | 27,4       | 27,4      | 31,9   | 23,3                        | 86,6     |
|                                | Лето       | 99,6                        | 36,2     | 41,5       | 46,7      | 41,7   | 33,3                        | 79,8     |
|                                | Осень      | 94,0                        | 32,9     | 41,8       | 33,9      | 44,8   | 22,7                        | 78,3     |

**Лецитиназа** по результатам анализа характеризовалась широким диапазоном значений у разных видов и штаммов энтеробактерий. В исследуемых биотопах она была зарегистрирована весной в 62,5 % случаев, летом и осенью – в 87,5 % случаев. В среднем все виды этого семейства, выделенные из воды, весной преобладали над видами, выделенными из рыб в 1,1, летом и осенью – в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ). Данные табл. 1, 2 свидетельствуют, что доминирующие в воде и рыбе цитробактеры летом имели максимальные показатели по этому фактору патогенности. Бактерии р. *Proteus*, в частности все штаммы *Pr. mirabilis*, имели тенденцию к увеличению значений лецитиназы летом, со спадами весной и осенью. Между тем *Pr. vulgaris*, выделенный из воды и рыбы весной, был лецитиназонегативен. Летом этот признак присутствовал в 93,4 и 77,8 % случаев, снижаясь к осени в 1,7 и 2,1 раза соответственно. Водные и рыбные штаммы бактерий р. *Enterobacter* были активны по лецитиназе в 88,2 и 80,2 % случаев, к лету этот показатель снижался в 1,5 и 1,6 раза соответственно. Осенью как у водных, так и у рыбных штаммов этих бактерий отмечался рост значений этого персистентного признака до 100 %. У провиденсий обоих биотопов отмечен его динамичный рост от весны к осени (водные штаммы – в 2,1 раза; рыбные – в 1,8 раза, ( $p < 0,05$ )).

**Гемолизин** по результатам многолетнего мониторинга зарегистрирован весной в 75,0 %, летом и осенью – в 87,5 % случаев от всех выделенных энтеробактерий. Средние значения этого фактора патогенности (без учета сезонности) в исследуемых биотопах были близкими (рис. 1). Аналогичные данные для дельты р. Волги были получены ранее [12–14]. Отметим, что весной водные и рыбные штаммы всех анализируемых энтеробактерий имели по гемолизу одинаковые значения, а летом и осенью значения водных изолятов превышали значения рыбных в 1,0–1,2 раза соответственно ( $p < 0,05$ ) (табл. 1, 2). Так, у доминирующих водных и рыбных штаммов *Citrobacter* spp. значения гемолизина увеличивались от весны к лету в 2,2 раза. Достигнув максимальных показателей, они к осени снизились в 1,6 раза в обоих биотопах. В то же время весной водные и рыбные штаммы *C. freundii* по этому персистентному признаку имели обратную тенденцию с его максимальными значениями и значительным спадом к осени. У доминирующих бактерий группы протей этот патогенный признак также проявлялся по-разному. У *Pr. mirabilis* его максимальные значения в обоих биотопах отмечены только осенью. Они были в 1,5 раза выше весенних и летних показателей ( $p < 0,05$ ) (табл. 1, 2). У *Pr. vulgaris* максимальные значения гемолизина у водных и рыбных штаммов отмечены летом. Весной в обоих биотопах эти показатели были в 2,8 раза ниже летних ( $p < 0,05$ ), летом – в 1,7 раза ниже осенних (табл. 1, 2). Следовательно, у доминирующих видов энтеробактерий даже в структуре рода гемолитическая активность варьировала по сезонам года. Близкие к протейам провиденсии в обоих биотопах были гемолитически активны летом в 100 % случаев у водных и 91,8 % у рыбных изолятов. Весной в воде и рыбе эти показатели были в 2,0 и 1,8 раза ниже, чем летом. Осенью водные штаммы оставались по своей активности на уровне летних, а активность рыбных штаммов снизилась в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ). Однако следует подчеркнуть, что провиденсии активно вегетировали в воде и рыбе даже в конце ноября. Таким образом, у энтеробактерий, выделенных как из воды, так и из рыбы, значения гемолитической активности значительно варьировали, но были высокими летом и осенью, обуславливая эпидемиологическую опасность в гидроэкосистеме дельты р. Волги. В составе этого семейства бактерии родов *Citrobacter* и *Proteus* имели самые высокие значения этого фенотипического признака.

Значения **уреазы**, согласно результатам анализа, отличались значительной вариабельностью у энтеробактерий, выделенных из воды и рыбы, как по видам, так и по сезонам. Весной она присутствовала у 62,5 %, летом и осенью – у 87,5 % анализируемых штаммов и видов бактерий этого семейства. Средние значения этого признака у водных штаммов всех энтеробактерий были в 1,1 раза выше, чем у рыбных ( $p < 0,05$ ) (рис. 1). Штаммы *P. vulgaris* в обоих исследуемых биотопах обладали максимальными значениями в 100 % случаев, они снижались осенью в 1,3 раза только у рыбных штаммов ( $p < 0,05$ ) (табл. 1, 2). У водных и рыбных штаммов *Pr. mirabilis* максимальный подъем этого маркера патогенности отмечен осенью; летом он в воде и рыбе был ниже в 1,2 раза. Весной он проявлялся по минимуму и был по сравнению с летними значениями ниже в воде и рыбе – в 1,6 и 1,5 раза соответственно, ( $p < 0,05$ ) (табл. 1, 2), т. е. у этого вида отмечен линейный рост уреазопозитивных штаммов от весны к осени. Аналогичная тенденция зарегистрирована у водных и рыбных изолятов *Citrobacter* spp. – осенью в обоих биотопах отмечены максимальные значения: у водных штаммов – 32,0 %, у рыбных – 26,7 %, летом в соответствующих

биотопах эти значения были в 2,3 и 2,1 раза ниже. Весной они были уреазонегативными. Аналогичная тенденция отмечена у морганелл, изолированных из воды и рыбы. Штаммы *C. freundii* в обоих исследуемых эконишах обладали максимальными значениями этого фенотипического признака только летом, весной они были соответственно ниже в 1,9 и 1,7 раза; осенью – в 2,5 и 2,7 раза ( $p < 0,05$ ), (табл. 1, 2). Следовательно, у доминирующих в биопротифиле всех исследуемых энтеробактерий цитробактеров и протеев установлена сезонная вариабельность уреазы даже в структуре рода. У провиденсий в обоих биотопах отмечена также летняя активность уреазы. Весной она была соответственно ниже в 1,3 и 1,2 раза, осенью – в 1,8 раза ниже летних показателей. У выделенных нами эдвардсиелл этот патогенный признак отсутствовал – во все сезоны года по активности уреазы они были инертными. Таким образом, этот признак присутствовал у исследуемых энтеробактерий с максимальными значениями в основном летом и осенью.

**Реакция Фогеса – Проскауэра** была характерной для анализируемых энтеробактерий, за исключением эдвардсиелл и провиденсий. Доминирующие протееи имели максимальные значения этого признака. У *Pr. mirabilis* они отмечены весной у водных и рыбных штаммов; затем в обоих биотопах происходил динамичный спад ( $p < 0,05$ ) от весны к лету – в 1,6 раза и от лета к осени: у водных штаммов – в 1,7, у рыбных – в 2,0 раза (табл. 1, 2). У *Pr. vulgaris* максимальные значения зарегистрированы летом; весной и осенью в этих биотопах они были в 1,2 и 1,3 раза ниже. Субдоминирующие штаммы *Citrobacter* spp. по этой реакции весной в обоих эконишах были инертны, со значительным летним подъемом в 48,9 % у водных и в 44,4 % – у рыбных изолятов (табл. 1, 2). Водные штаммы *C. freundii* имели максимальные значения этого маркера только осенью – 38,9 % проб, летом и весной они были в 1,1–1,2 раза ниже ( $p < 0,05$ ). Рыбные штаммы имели максимальные значения по этому признаку, наоборот, весной – 33,3 % проб, летом и осенью они снижались в 1,2 раза ( $p < 0,05$ ). Значения реакции Фогеса – Проскауэра, зарегистрированные в обоих эконишах у энтеробактеров, были весьма изменчивыми. Максимальные значения отмечены летом и у водных, и у рыбных штаммов. Весной и осенью у водных штаммов они были ниже в 3,6 и 2,6 раза соответственно; у рыбных – в 2,8 и 1,8 раза. Таким образом, у исследуемых нами энтеробактерий значения реакции Фогеса – Проскауэра по сезонам года весьма изменчивы в структуре и рода, и видов (табл. 1, 2).

**Каталазная активность**, наряду со способностью роста, при температуре +37 °С имела самые высокие значения у всех анализируемых энтеробактерий с различием в 1,1 раза у водных и рыбных штаммов (рис. 1) и сезонной вариабельностью (табл. 1, 2). Отметим, что их водные изоляты имели почти равные средние максимальные значения каталазы летом и осенью (рис. 1, табл. 1, 2), у рыбных штаммов они были отмечены весной и динамично снижались к лету и осени в 1,1 и 1,2 раза ( $p < 0,05$ ). В структуре этого семейства наиболее активными по этому признаку были доминирующие протееи. У штаммов *Pr. mirabilis* в обоих эконишах максимумы зарегистрированы летом. Весной они были ниже и у водных, и у рыбных штаммов в 1,1 и 1,3 раза ( $p < 0,05$ ), осенью – в 1,1 и 1,2 раза соответственно. Водные штаммы *Pr. vulgaris* во все сезоны года были каталазопозитивными в 100 % случаев; рыбные – только весной и осенью; летом значения этого показателя были ниже в 1,1 раза (табл. 1, 2). Субдоминирующие штаммы *Citrobacter* spp. и *C. freundii* по этому признаку имели максимальные значения только летом. Отметим, что у водных штаммов *Citrobacter* spp. они снижались весной в 2,1, осенью – в 1,1 раза; у рыбных изолятов – в 2,3 и 1,4 раза ( $p < 0,05$ ) соответственно (табл. 1, 2). Активность водных и рыбных штаммов *C. freundii* весной и осенью была в 1,1–1,2 и 1,3–1,7 раза ниже, чем летом. У энтеробактеров, выделенных из воды и рыбы, во все сезоны года отмечалась каталазная активность в 100 % случаев. Близкие к протееям провиденсии в обоих биотопах имели максимальные показатели этого маркера весной, у водных штаммов эти показатели динамично снижались от лета к осени – в 1,05–1,1 раза, у рыбных – в 1,2 и 1,5 раза (табл. 1, 2). Морганеллы, выделенные из воды и рыбы, в 100 % случаев были каталазопозитивны только осенью. Летом и весной их водные штаммы снижали свою активность в 3,3 и 1,2 раза, рыбные – в 3,9 и 1,2 раза ( $p < 0,05$ ) соответственно (табл. 1, 2). У эдвардсиелл максимальные значения этого признака были отмечены только летом ( $p < 0,05$ ), а весной и осенью они снижались в обоих биотопах в 1,6 раза (табл. 1, 2).

Таким образом, согласно результатам многолетнего мониторинга, существует прямая связь между встречаемостью условно-патогенных бактерий и ростом значений маркеров их патогенности в сезонном аспекте по персистентным признакам (рис. 2).

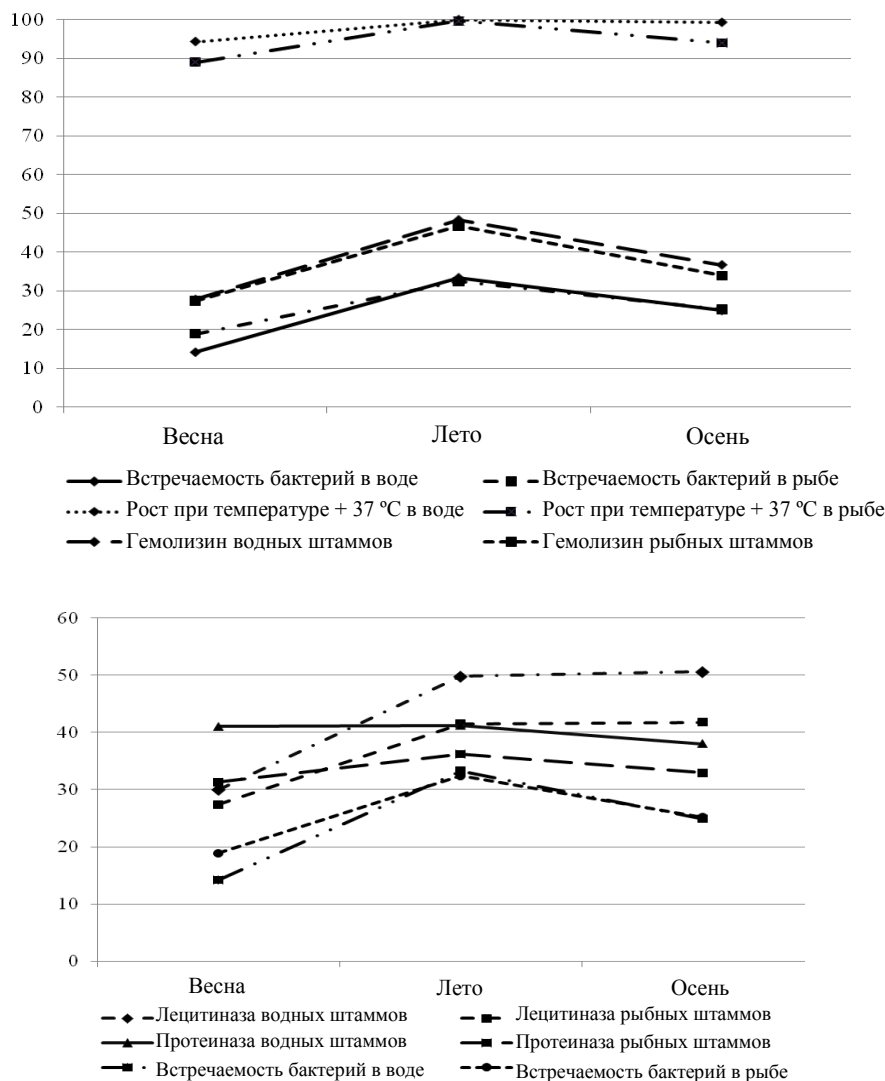


Рис. 2. Сезонная динамика встречаемости энтеробактерий в воде и рыбе и некоторые факторы их патогенности

Максимум значений встречаемости энтеробактерий в воде и рыбе и пики их фенотипических признаков зарегистрированы летом с небольшим спадом осенью. Отметим, что маркеры патогенности наиболее четко проявлялись у протеев, цитробактеров и энтеробактеров, т. е. наиболее часто встречались в биофилье этого семейства. Штаммы, выделенные из воды, характеризовались более высокими значениями патогенности по сравнению с рыбными во все сезоны года, что свидетельствует об их потенциальной эпидемиологической опасности. Выраженность их персистентных свойств варьирует в широком диапазоне, что позволяет им длительно циркулировать в гидросистеме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарин О. В. Патогенные бактерии в природных экосистемах / О. В. Бухарин, В. Ю. Литвин. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997. 276 с.
2. Бухарин О. В. Инфекция – модельная система ассоциативного симбиоза / О. В. Бухарин // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2009. № 1. С. 83–86.
3. Grimes D. L. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A. review / D. L. Grimes // Estuaries. 1991. 14, N 4. P. 345–360.
4. O'Toole G. A. Biofilm formation as microbial development / G. A. O'Toole, A. H. Kaplan, R. Kolter // Ann. Rev. Microbiol. 2000. N 4. P. 49–76.

5. Shank A. E. New development in microbial interspecies signaling / A. E. Shank, R. Kolter // *Cuzr. Opin. Microbial.* 2009. 12 (2). P. 205–214.
6. Бондаренко В. М. Факторы патогенности бактерий и роль в развитии инфекционного процесса / В. М. Бондаренко // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии.* 1999. № 5. С. 34–39.
7. Литвин В. Ю. Природная очаговость болезней: развитие концепции к исходу века / В. Ю. Литвин, Э. И. Коренберг // *Паразитология.* 1999, Т. 33, № 3. С. 179–191.
8. Бондаренко В. М. Идеи И. И. Мечникова и современная микроэкология кишечника человека / В. М. Бондаренко, В. Г. Лиходед // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии.* 2008. № 5. С. 23–29.
9. Анганова Е. В. Биологические свойства условно-патогенных бактерий водных экосистем / Е. В. Анганова // *Гигиена и санитария.* 2010. № 5. С. 67–68.
10. Анганова Е. В. Условно-патогенные энтеробактерии: доминирующие популяции, биологические свойства, медико-экологическая значимость / Е. В. Анганова: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Иркутск, 2012. 44 с.
11. Ларцева Л. В. Гигиеническая оценка по микробиологическим показателям рыбы и рыбных продуктов Волго-Каспийского региона / Л. В. Ларцева: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1998. 44 с.
12. Hasseff D. J. Bacterial adaptation to oxidative stress: implications for pathogenesis and intraction with phagocytic / D. J. Hasseff, M. S. Cohen // *Faseb J.* 1989. Vol. 3, N 14. P. 2514–2582.
13. Обухова О. В. Бактериоценоз воды и судака (*Stizostedion lucioperca*) в дельте Волги / О. В. Обухова: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 24 с.
14. Лисицкая И. А. Бактериальные сообщества некоторых компонентов экосистемы дельты Волги и Северного Каспия / И. А. Лисицкая: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2008. 23 с.

#### REFERENCES

1. Buharin O. V., Litvin V. Ju. *Patogennnye bakterii v prirodnyh jekosistemah* [Pathogenic bacteria in natural ecosystems]. Yekaterinburg, Izd-vo UrO RAN, 1997. 276 p.
2. Buharin O. V. Infekcija – model'naja sistema asociativnogo simbioza [Infection – a model system of associated symbiosis]. *Zhurnal mikrobiologii, jepidemiologii i immunologii*, 2009, no. 1, pp. 83–86.
3. Grimes D. L. *Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A. review*, 1991, 14, no. 4, pp. 345–360.
4. O'Toole G. A., Kaplan A. H., Kolter R. Biofilm formation as microbial development. *Ann. Rev. Microbial.*, 2000, no. 4, pp. 49–76.
5. Shank A. E., Kolter R. New development in microbial interspecies signaling. *Cuzr. Opin. Microbial.*, 2009, 12 (2), pp. 205–214.
6. Bondarenko V. M. Faktory patogennosti bakterij i rol' v razvitii infekcionnogo processa [Factors of pathogenicity of bacteria and their role in the infection process acceleration]. *Zhurnal mikrobiologii, jepidemiologii i immunologii*, 1999, no. 5, pp. 34–39.
7. Litvin V. Ju., Korenberg Je. I. Prirodnaja ochagovost' boleznej: razvitie koncepcii k ishodu veka [Natural focuses of diseases: concept development to the end of the century]. *Parazitologija*, 1999, vol. 33, no. 3, pp. 179–191.
8. Bondarenko V. M., Lihoded V. G. Idei I. I. Mechnikova i sovremennaja mikrojekologija kischechnika cheloveka [I. I. Mechnikov's ideology and present microecology of human intestine]. *Zhurnal mikrobiologii, jepidemiologii i immunologii*, 2008, no. 5, pp. 23–29.
9. Anganova E. V. Biologicheskie svojstva uslovno-patogennyh bakterij vodnyh jekosistem [Biological properties of opportunistic bacteria of water ecosystems]. *Gigiena i sanitarija*, 2010, no. 5, pp. 67–68.
10. Anganova E. V. *Uslovno-patogennnye jenterobakterii: dominirujushhie populjaccii, biologicheskie svojstva, mediko-jekologicheskaja znachimost'*. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk [Opportunistic enteric bacteria: dominating populations, biological characteristics, medical ecological value]. Irkutsk, 2012. 44 p.
11. Hasseff D. J., Cohen M. S. Bacterial adaptation to oxidative stress: implications for pathogenesis and intraction with phagocytic. *Faseb J.*, 1989, vol. 3, no. 14, pp. 2514–2582.
12. Larceva L. V. *Gigienicheskaja ocenka po mikrobiologicheskim pokazateljam ryby i rybnyh produktov Volgo-Kaspijskogo regiona*. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk [Hygienic evaluation by microbiological indicators of fish and fish products of the Volga-Caspian region. Abstract of dis. doc. biol. sci.]. Moscow, 1998. 44 p.
13. Obuhova O. V. *Bakteriocenoz vody i sudaka (Stizostedion lucioperca) v del'te Volgi*. Avtoreferat. dis. kand. biol. nauk [Bacteriocenosis of water and perch (*Stizostedion lucioperca*) in the Volga delta. Abstract of dis. cand. biol. sci.]. Moscow, 2004. 24 p.
14. Lisickaja I. A. *Bakterial'nye soobshhestva nekotoryh komponentov jekosistemy del'ty Volgi i Severnogo Kaspija*. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk [Bacterial communities of some components of ecosystem of the Volga delta and the North Caspian. Abstract of dis. cand. biol. sci.]. Astrakhan, 2008. 23 p.



### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Обухова Ольга Валентиновна** – Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук; доцент кафедры «Гидробиология и общая экология»; obuhowa-ov@yandex.ru.

**Obukhova Olga Valentinovna** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Hydrobiology and General Ecology"; obuhowa-ov@yandex.ru.

**Ларцева Любовь Владимировна** – Астраханский государственный университет; г-р биол. наук, профессор; профессор кафедры «Экология, природопользование, землеустройство и безопасность жизнедеятельности»; lartsevaolga@mail.ru.

**Lartseva Lyubov Vladimirovna** – Astrakhan State University; Doctor of Biology, Professor; Professor of the Department "Ecology, Nature Management, Land Management and Safety of Vital Activity"; lartsevaolga@mail.ru.

**Лисицкая Ирина Анатольевна** – Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Астрахань; канд. биол. наук; старший научный сотрудник лаборатории ихтиопатологии.

**Lisitskaya Irina Anatolievna** – Caspian Research Institute of Fisheries, Astrakhan; Candidate of Biology; Senior Researcher of the Laboratory of Ichthyopathology.