

Научная статья  
УДК 63:639.3.03  
doi:10.35694/YARCX.2024.66.2.012

## ИНКУБАЦИЯ ИКРЫ ОСЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

**Владимир Викторович Шмигель<sup>1</sup>, Вера Витальевна Жолудева<sup>2</sup>,  
Анна Дмитриевна Кутина<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

<sup>1</sup>volod49@mail.ru

<sup>2</sup>zholudeva@yarcx.ru, ORCID 0000-0001-9194-6659

<sup>3</sup>kutina@yarcx.ru

**Реферат.** В данной статье на основе статистических методов проведено сравнение доли выхода личинок при инкубации икры в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля и доли выхода личинок с наложением электростатического поля через систему электродов. На основе t-критерия Стьюдента проверена гипотеза о схожести (различии) результатов вылупления личинок осетра в контрольной и экспериментальной группах. Результаты проверки позволили сделать вывод об эффективности наложения электростатического поля через систему электродов, что позволяет существенно снизить потери личинок.

**Ключевые слова:** икра ленского осетра, эксперимент, электростатическое поле, критерий Стьюдента, аппарат Вейса

## INCUBATION OF STURGEON ROE USING AN ELECTROSTATIC FIELD

**Vladimir V. Shmigel<sup>1</sup>, Vera V. Zholudeva<sup>2</sup>, Anna D. Kutina<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup>Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

<sup>1</sup>volod49@mail.ru

<sup>2</sup>zholudeva@yarcx.ru, ORCID 0000-0001-9194-6659

<sup>3</sup>kutina@yarcx.ru

**Abstract.** In this article, based on statistical methods, a comparison was made of the proportion of larval yield during incubation of roe in Weiss apparatus without application an electrostatic field and the proportion of larval yield with application an electrostatic field through a system of electrodes. Based on Student's t-test, the hypothesis of similarity (difference) in the results of hatching of sturgeon larvae in the control and experimental groups was tested. The test results made it possible to conclude that the application of an electrostatic field through the electrode system is effective, which can significantly reduce the loss of larvae.

**Keywords:** Lena sturgeon roe, experiment, electrostatic field, Student's test, Weiss apparatus

**Введение.** Аквакультуре в настоящее время уделяется большое внимание.

В рыбоводстве одной из острых проблем при выводе потомства является плохая выводимость личинок из икры. При заводской инкубации икры осетра очень мал процент вылупляемости личинок (до 60%) [1]. Именно по этой причине исследователей привлекают возможные варианты увеличения данного показателя, например, за счёт применения электростатического поля для стимуляции развития оплодотворённой икры (осетра, стерляди) [2; 3; 4].

Цель данного исследования – сравнение доли выхода личинок при инкубации икры в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля и доли выхода личинок с наложением электростатического поля через систему электродов.

Задачи исследования:

- описание экспериментальной методики инкубации ленского осетра;
- проверка гипотезы о схожести (различии) результатов вылупления личинок осетра в контрольной и экспериментальной группах на основе t-критерия Стьюдента.

**Методика.** В ранних исследованиях [2; 3; 4] была использована икра ленского осетра. В первый день она была взвешена на весах марки ОКБ вес ТАРА214. Определён диаметр икры (3,2 мм, в стадии нейруляции) при помощи микроскопа МБС-1. Произведён пересчёт икринок и распределение в равных долях по 4-м колбам аппарата. В одну колбу аппарата Вейса было заложено 100 г оплодотворённой икры, или порядка 9700 шт. на одну колбу. На две колбы аппарата были наложены медные электроды, которые подключены к источнику высокого напряжения постоянного тока. Две оставшиеся колбы были без наложения электростатического поля (контрольные).

В первые два дня появились первые заражённые икринки сапролегнией во всех колбах. Было выбрано из каждой колбы по три штуки на проверку развития хорды внутри икринки.

На третий день появились первые личинки. Температура воды варьировала в пределах 20–21°C, pH воды – 6,2. Количество заражённых сапролегнией икринок составило 6 штук в первой и

5 штук – во второй опытной колбах. В контрольной колбе № 1 количество заражённых икринок составило 17 штук, в колбе № 2 – 13 штук.

На следующий день температура воды утром составила 20,9°C, днём – 20,3°C. Количество заражённых сапролегнией икринок в контрольной группе составило в колбе № 1 – 31 штука, а в колбе № 2 – 28 штук. В опытных группах заражённых икринок не выявлено.

Кислотность воды, измеренная во время инкубации, указана в таблице 1.

Из данной таблицы видно, что уровень pH был примерно на одном уровне. Температура во время инкубации колебалась в пределах 19–21°C.

Количество вылупленных личинок из икры ленского осетра на третий день эксперимента представлено в таблице 2.

Общий выход личинок на третий день эксперимента составил 23 штуки. Как видно из таблицы 2, выход личинок в опытных колбах, на которых шло воздействие электростатического поля, отличается от контрольных в сторону увеличения.

Таблица 1 – Значение pH воды в период эксперимента

День	Уровень pH
1	6,98
2	6,85
3	6,70
4	6,59

В данном эксперименте (табл. 3) представлено два варианта инкубации икры [5]:

1) контрольная группа – инкубация в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля;

2) опытная группа – инкубация в аппаратах Вейса с наложением электростатического поля через систему электродов.

Для сравнения доли выхода личинок при инкубации икры в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля и доли выхода личинок с наложением электростатического поля через систему электродов был применён t-критерий Стьюдента [6]. Это обусловлено тем, что t-критерий Стьюдента – это общее название для класса методов статистической проверки гипотез, связанных с проверкой равенства средних значений в двух выборках. По результатам такого анализа можно

делать вывод о сходстве или различии анализируемых объектов.

Дадим краткое описание применения t-критерия Стьюдента. Требуется при заданном уровне значимости  $\alpha$  проверить нулевую гипотезу  $H_0: M(X) = M(Y)$  о равенстве математических ожиданий рассматриваемых генеральных совокупностей.

Обычно выборочные средние бывают различны. Возникает вопрос: значимо (существенно) или незначимо различаются выборочные средние. Если окажется, что нулевая гипотеза справедлива, то выборочные средние различаются незначимо. Если нулевая гипотеза будет отвергнута, то различие выборочных средних значимо и не может объясняться случайными причинами, а объясняется тем, что сами математические ожидания различны.

Таблица 2 – Вылупление личинок из икры ленского осетра на третий день эксперимента

Опыт		Контроль	
№ 1 колба	№ 2 колба	№ 1 колба	№ 2 колба
8	6	4	5

## Инкубация икры осетра с использованием электростатического поля

Таблица 3 – Вылупление личинок икры в контрольной и опытной группах на третий день инкубации

Номер опыта	Контрольная группа		Опытная группа	
	Выход, шт.	Доля	Выход, шт.	Доля
1	527	0,4504	842	0,7197
2	541	0,4624	835	0,7137
3	531	0,4538	831	0,7103
4	535	0,4573	840	0,7179
5	546	0,4667	847	0,7239
6	541	0,4624	850	0,7265
7	543	0,4641	853	0,7291
8	538	0,4598	839	0,7171
9	532	0,4547	846	0,7231
10	529	0,4521	849	0,7256
11	540	0,4615	853	0,7291

В качестве критерия проверки нулевой гипотезы берут случайную величину

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{nS_x^2 + mS_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}} \quad (1)$$

Тогда:

1. Если  $|T| < t_{n+m-2;\alpha}$ , где  $t_{n+m-2;\alpha}$  определяется по таблице Стьюдента, то принимаем гипотезу о том, что  $M(X) = M(Y)$  по сравнению с альтернативной гипотезой  $M(X) \neq M(Y)$ . И отвергаем эту гипотезу, если неравенство не выполнено.

2. Если оказалось,  $x < y$ , можно проверять гипотезу о том, что  $M(X) = M(Y)$ , когда альтернативной гипотезой является  $M(X) < M(Y)$ . Если выполняется неравенство  $T < -t_{n+m-2;\alpha}$ , то основная гипотеза ( $M(X) = M(Y)$ ) неверна, и принимается гипотеза, что  $M(X) < M(Y)$ .

3. Можно проверять гипотезу о том, что  $M(X) = M(Y)$ , когда альтернативной является гипотеза  $M(X) > M(Y)$ . Если выполняется неравенство  $T > t_{n+m-2;\alpha}$ , то принимается гипотеза  $M(X) > M(Y)$ .

**Результаты.** Для проверки гипотезы о схожести (различии) результатов вылупления личинок осетра в контрольной и экспериментальной группах были выбраны две выборки. В первой выборке (контрольной) было измерено количество выхода личинок в результате 11 проведённых опытов при инкубации в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля. Во второй выборке (опыт-

ной) зафиксированы результаты инкубации икры в аппаратах Вейса с наложением электростатического поля через систему электродов (проведено 11 замеров). Количество закладываемой икры в обеих группах во всех опытах составляло 1170 штук.

Расчётное значение критерия Стьюдента рассчитывалось на основе формулы (1). Критическое значение t-критерия Стьюдента определялось для уровня значимости 0,05 при числе степеней свободы 20 по таблице Стьюдента. Это значение равно  $t_{n+m-2;\alpha} = t_{20;0,05} = 1,73$ . Все расчёты сведены в таблице 4.

$$\begin{aligned} T &= \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{nS_x^2 + mS_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}} = \\ &= \frac{0,458655 - 0,721455}{\sqrt{11 \cdot 0,0000256 + 11 \cdot 0,0000347}} \times \\ &\quad \times \sqrt{\frac{11 \cdot 11(11+11-2)}{11+11}} = \\ &= \frac{-0,2628}{0,0257546} \cdot 10,488 = -107,02 \end{aligned}$$

На основе полученных данных была проведена статистическая проверка t-критерия Стьюдента, результаты проверки представлены в таблице 5.

Анализ таблицы 5 позволяет сделать вывод об эффективности наложения электростатического поля через систему электродов в аппаратах

Таблица 4 – Расчётные значения критерия Стьюдента

Группа	Количество опытов	Выборочное среднее	Выборочная дисперсия
Контрольная группа	$n = 11$	$\bar{x} = 0,458655$	$S_x^2 = 0,0000256$
Опытная группа	$m = 11$	$\bar{y} = 0,721455$	$S_y^2 = 0,0000347$

Таблица 5 – Статистическая проверка t-критерия Стьюдента

Формулировка гипотез	Расчётное значение критерия	Критическое значение	Вывод
Нулевая гипотеза $H_0$ : доля выхода личинок при инкубации икры в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля и доля выхода личинок с наложением электростатического поля через систему электродов статистически незначимы (не имеют различий)	$T = -107,02$	$t_{кр} = t_{20;0,05} = 1,73$	$-107,02 < -1,73$ $T < -t_{кр}$ Гипотеза $H_0$ отвергается в пользу гипотезы $H_1$ : доля выхода личинок при инкубации икры в аппаратах Вейса без наложения электростатического поля в контрольной выборке ниже аналогичных показателей в выборке с наложением электростатического поля через систему электродов

Вейса, что позволяет существенно снизить потери личинок.

**Вывод.** Таким образом, проведённое исследование, результаты которого представлены авторами в данной статье, подтвердило гипотезу о том, что вылупление личинок осетра в контрольной и экспериментальной группах имеют различия. А именно, доля выхода личинок при инкубации икры в аппара-

тах Вейса без наложения электростатического поля в контрольной выборке ниже аналогичных показателей в выборке с наложением электростатического поля через систему электродов. Следовательно, применение электростатического аппарата Вейса на рыбоводных предприятиях позволит увеличить выход готовой продукции и, как следствие, повысить эффективность их деятельности.

#### Список источников

1. Мандра А. В., Пиротти Е. Л. Расчет электромагнитного импульсного поля в инкубационной емкости с икрой осетровых // The scientific heritage. 2020. № 46-1 (46). С. 20–24. EDN GPUPEJ.
2. Скворцова Е. Г., Шмигель В. В., Кутина А. Д. Использование электрополей для оптимизации процесса инкубации икры и получения жизнестойких личинок в рыбоводных хозяйствах // Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве : сб. III Международ. науч.-практ. конф., Ярославль, 25–26 октября 2017 года. Ярославль : ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2017. С. 174–178. EDN RQMUZR.
3. Шмигель В. В., Угловский А. С., Кутина А. Д. Воздействие электростатического поля на оплодотворенную икринку осетра // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 6. С. 48–56. DOI 10.34286/1995-4646-2021-81-6-48-56. EDN HJZCUI.
4. Пат. 2700753 С1 Российская Федерация, МПК А01К 61/00. Способ интенсивной технологии инкубации икры / В. В. Шмигель ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия». № 2018142764 ; заявл. 03.12.2018 ; опубл. 19.09.2019, Бюл. № 26. 4 с. EDN NRMJFI.
5. Шмигель В. В., Жолудева В. В., Кутина А. Д. Математическое планирование и обработка эксперимента с икрой ленского осетра в аппарате Вейса при наложении на колбу с электродами электростатического поля // Вестник АПК Верхневолжья. 2024. № 1 (65). – С. 119–127. DOI 10.35694/YARCX.2024.65.1.017. EDN TOXNIY.
6. Т-тест Стьюдента в анализе данных: комплексное исследование. URL: <https://ru.statisticseasily.com/студенты-т-тест/> (дата обращения: 28.05.2024).

#### References

1. Mandra A. V., Pirotti E. L. Raschet jelektromagnitnogo impul'snogo polja v inkubacionnoj emkosti s ikroy osetrovyh // The scientific heritage. 2020. № 46-1 (46). S. 20–24. EDN GPUPEJ.
2. Skvortsova E. G., Shmigel' V. V., Kutina A. D. Ispol'zovanie jelektropolej dlja optimizacii processa inkubacii ikry i poluchenija zhiznesticikh lichinok v rybovodnyh hozjajstvah // Povyshenie urovnja i kachestva biogen-nogo potenciala v zhivotnovodstve : sb. III Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf., Jaroslavl', 25–26 oktjabrja 2017 goda. Jaroslavl' : FGBOU VO Jaroslavskaja GSHA, 2017. S. 174–178. EDN RQMUZR.
3. Shmigel' V. V., Uglovskij A. S., Kutina A. D. Vozdejstvie jelektrostaticheskogo polja na oplodotvorennuju ikrinku osetra // Mezhdunarodnyj tehniko-jekonomicheskij zhurnal. 2021. № 6. S. 48–56. DOI 10.34286/1995-4646-2021-81-6-48-56. EDN HJZCUI.
4. Pat. 2700753 C1 Rossijskaja Federacija, MPK A01K 61/00. Sposob intensivnoj tehnologii inkubacii ikry / V. V. Shmigel' ; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego

obrazovaniya «Jaroslavskaja gosudarstvennaja sel'skohozejstvennaja akademija». № 2018142764 ; zajavl. 03.12.2018 ; opubl. 19.09.2019, Bjul. № 26. 4 s. EDN NRMJFI.

5. Shmigel' V. V., Zholudeva V. V., Kutina A. D. Matematicheskoe planirovanie i obrabotka jeksperimenta s ikroj lenskogo osetra v apparate Vejsa pri nalozhenii na kolbu s jelektrodami jelektrostaticeskogo polja // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. 2024. № 1 (65). – S. 119–127. DOI 10.35694/YARCX.2024.65.1.017. EDN TOXNIY.

6. T-test St'judenta v analize dannyh: kompleksnoe issledovanie. URL: <https://ru.statisticseasily.com/studenty-t-test/> (data obrashhenija: 28.05.2024).

*Сведения об авторах*

**Владимир Викторович Шмигель** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 5673-4145.

**Вера Витальевна Жолудева** – кандидат педагогических наук, доцент, профессор кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 2190-8887.

**Анна Дмитриевна Кутина** – аспирант кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», kutina@yarcx.ru.

*Information about the authors*

**Vladimir V. Shmigel** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 5673-4145.

**Vera V. Zholudeva** – Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 2190-8887.

**Anna D. Kutina** – postgraduate student of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", kutina@yarcx.ru.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.