

А. И. ЗОТИН

# ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОТДАЧИ ВОДЫ ЯЙЦАМИ ОСЕТРОВЫХ РЫБ И АМФИБИЙ В ГИПЕРТОНИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 30 XI 1954)

В предыдущей работе (1) был описан метод изучения поступления воды в развивающиеся яйца осетровых рыб. В основу метода положено измерение плотности яиц, которая определялась по скорости падения яйца в трубке с раствором сахарозы. Этот же метод использован в настоящей работе для изучения отдачи воды яйцами рыб и амфибий в гипертонической среде\*.

Было показано (1), что скорость падения яйца связана с объемом поступающей в яйцо воды соотношением:

$$u_1^{1,37} = \frac{g[V_0(\sigma - \rho) - \Delta V(\rho - 1)]}{2,25\pi\rho^{0,37}\eta^{0,63}d_1^{1,37}}, \quad (1)$$

где  $u_1$  — скорость падения яйца (см/сек),  $V_0$  — начальный объем яйца радиуса  $r_0$  (см<sup>3</sup>),  $\Delta V$  — объем поступившей или вышедшей из яйца воды (см<sup>3</sup>),  $\sigma$  — плотность яйца радиуса  $r_0$  (г/см<sup>3</sup>),  $\rho$  — плотность среды (г/см<sup>3</sup>),  $\eta$  — вязкость среды (г/см·сек). Обозначим:  $a = gV_0(\sigma - \rho)$ ,  $b = 2,25\pi\rho^{0,37}\eta^{0,63}$ ,  $c = g(\rho - 1)$ . Тогда из (1) получим

$$\Delta V = \frac{a - bu_1^{1,37}d_1^{1,37}}{c}. \quad (2)$$

При поступлении воды в яйцо диаметр яйца меняется следующим образом:

$$d_1 = 2r_1 = 2\sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi}\Delta V}. \quad (3)$$

Следовательно, вычисление  $\Delta V$  по формуле (2) даст значительную ошибку, которую, однако, можно уменьшить, если ввести поправки на изменения диаметра яйца при вхождении или выходе воды. Из формул (2) и (3):

$$\begin{aligned} d_1 &= 2\sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{a - bu_1^{1,37}d_1^{1,37}}{c}} \\ d_2 &= 2\sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{a - bu_2^{1,37}d_2^{1,37}}{c}} \\ &\dots \dots \dots \\ d_n &= 2\sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{a - bu_n^{1,37}d_n^{1,37}}{c}}. \end{aligned} \quad (4)$$

\* Более подробно методика изучения отдачи воды яйцами рыб в гипертонической среде описана в работе (5).

Для яиц осетровых рыб и амфибий практически можно ограничиться поправкой до  $d_2$ :

$$d_1 = 2 \sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{a - bu_1^{1,37} \left( 2 \sqrt[3]{r_0^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{a - bu_1^{1,37} d_0^{1,37}}{c}} \right)^{1,37}}{c}} \quad (5)$$

и

$$\Delta V = \frac{a}{c} - 2,58 \frac{b}{c} u_1^{1,37} \left[ r_0^3 + 0,239 \frac{a}{c} - 0,616 \frac{b}{c} u_1^{1,37} \left( r_0^3 + 0,239 \frac{a}{c} - 0,239 \frac{b}{c} u_1^{1,37} d_0^{1,37} \right)^{0,45} \right]^{0,45} \quad (6)$$

Зная скорость падения яйца в вязкой жидкости, можно из формулы (6) вычислять объем поступившей в яйцо или вышедшей из яйца воды (все константы, входящие в формулу (6), легко определить экспериментально или по таблицам).

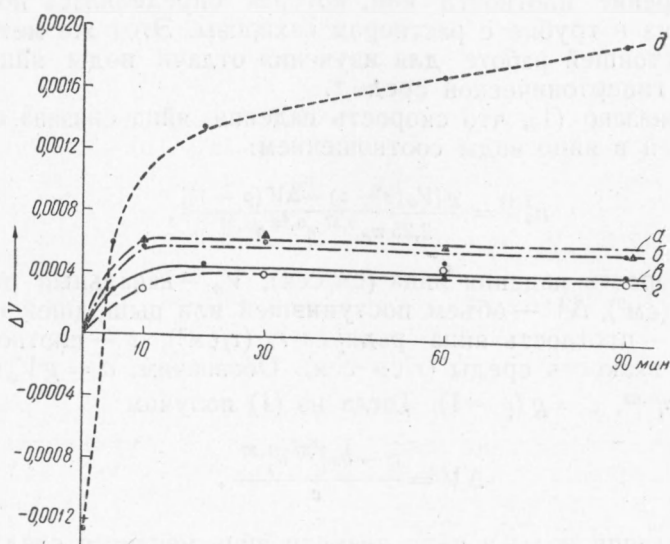


Рис. 1. Выход воды из живых яиц белуги (а), осетра (б), севрюги (в) и аксолотля (г) и убитых яиц севрюги (д) (5 мин. действия кипящей воды) в 0,27 М растворе сахарозы

Материалом для данной работы послужило исследование кинетики выхода воды из яиц осетровых рыб (белуга, осетр, севрюга) и амфибий (аксолотль). Работа с яйцами осетровых рыб проводилась в низовьях Дона весной 1951—1952 гг. и с яйцами аксолотля — летом 1954 г. в Москве. Исследование выхода воды в гипертонической среде было проведено на нескольких стадиях развития от оплодотворения до вылупления зародышей. У яиц перед опытом удалялись наружные обложки и оставлялась только внутренняя желточная оболочка, которая плотно прилежит к яйцу и придает ему шарообразную форму. На рис. 1 приведены кривые выхода воды из яиц белуги (стадия оплодотворенного, но еще недробившегося яйца), осетра (стадия поздней гаструлы), севрюги (стадия 16 бластомер) и аксолотля (стадия 2 бластомер) в 0,27 М растворе сахарозы. Во всех случаях общий характер выхода воды сходен: сначала яйца легко отдают воду, затем выход воды из яиц прекращается. На рис. 1 приводится также кривая выхода воды в 0,27 М растворе сахарозы из яиц севрюги (стадия

16 бластомер), убитых высокой температурой \*. Из рис. 1 видно, что выход воды из убитых яиц продолжается и после того, как живые яйца прекратили отдачу воды. Следовательно, прекращение выхода воды из живых яиц связано не с тем, что у них исчерпываются резервы воды в яйце, а с особенностями кинетики отдачи воды живыми яйцами в гипертонической среде.

Высушивание яиц осетра на стадии поздней бластулы (при комнатной температуре) показывает, что яйцо весом 0,0136 г теряет около 0,0068 г воды, в то время так живые яйца этой стадии развития и той же партии икры теряют в 0,27 М растворе сахарозы только 0,0006 г воды, или 8,8% всей воды яйца. Сходные опыты с яйцами аксолотля показывают, что на стадии 2 бластомер живые яйца теряют в 0,27 М растворе сахарозы около 10% всей воды яйца. Сильно гипертоническими растворами сахарозы можно заставить яйцо отдать гораздо больше воды, но в этом случае яйца погибают. Таким образом, в 0,27 М растворе сахарозы живые яйца осетровых рыб и яйца аксолотля на стадии дробления могут отдать (оставаясь живыми) только 8—10% всей воды, имеющейся в яйце. Следовательно, у яиц осетровых рыб и амфибий имеется вода, которая легко отдается яйцом, и более прочно связанная в яйце вода, причем последняя выходит в окружающий гипертонический раствор сахаров только в случае гибели яйца.

Предварительные данные, полученные для яиц осетровых рыб, показывают, что количество воды, легко отдаваемой яйцом, не зависит от концентрации сахарозы в окружающей среде. Так, было найдено, что яйца осетра на стадии дробления отдают в 0,18 М растворе сахарозы 0,0009 см<sup>3</sup> воды, в 0,27 М растворе 0,0008 см<sup>3</sup>, в 0,37 М растворе 0,0007 см<sup>3</sup>. Более показательные данные были получены для яиц аксолотля. Измерения проводились одновременно в 5 трубках диаметром 25 мм с растворами сахарозы: 0,18; 0,27; 0,37; 0,42 и 0,47 М и с растворами глюкозы: 0,25; 0,37; 0,50; 0,75 и 1,00 М. Скорость падения яиц в трубке пересчитывалась на объем вышедшей из яйца воды при помощи формул, полученных из формулы (6). Вычислялось количество воды, которое отдает яйцо за 60 мин. пребывания в растворе сахара. Полученные результаты приводятся на рис. 2 и 3.

Из рис. 2 видно, что количество воды, отдаваемой живыми яйцами аксолотля на стадии крупноклеточной бластулы в растворах с разной концентрацией глюкозы, одинаково. Тот же результат получается, если применять растворы сахарозы (рис. 3 а). Убитые высокой температурой яйца аксолотля отдают воду в разных концентрациях сахарозы совсем иначе (рис. 3б): чем больше концентрация сахарозы в растворе, тем больше воды теряет яйцо (за 60 мин. пребывания в растворе сахарозы).

Таким образом, кинетика выхода воды из живых яиц осетровых рыб и амфибий в гипертонических растворах сахаров резко отличается от кинетики отдачи воды неживыми коллоидно-химическими системами и убитыми яйцами. Это отличие состоит в том, что живые яйца осе-

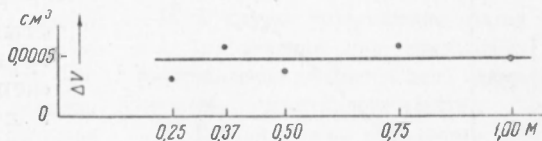


Рис. 2. Количество воды, выходящей из живых яиц аксолотля (стадия крупноклеточной бластулы) после 60 мин. пребывания в различных по концентрации растворах глюкозы

\* Во время гибели яиц они оводняются по сравнению с живыми яйцами, захватывая воду из окружающей среды. На рис. 1 вода, захваченная яйцами после гибели, показана отрицательными значениями  $\Delta V$ .

тровых рыб и амфибий имеют воду, которая легко отдается яйцом, и воду, связанную в яйце более прочно, поэтому в гипертонической

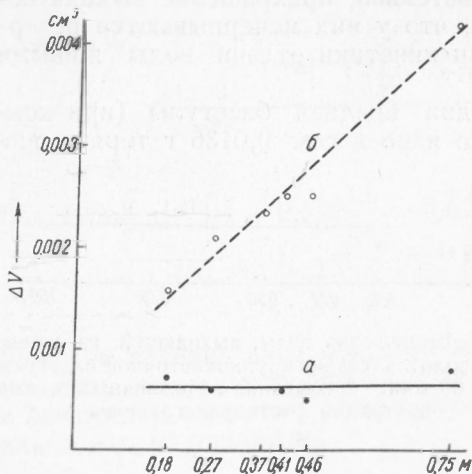


Рис. 3. Количество воды, выходящей из яиц аксолотля (стадия 2 бластомер) после 60 мин. пребывания в различных по концентрации растворах сахарозы. *а* — живые яйца, *б* — убитые яйца (5 мин. действия кипящей воды)

(<sup>6</sup>), что только 12% общего натрия у живых яиц способно к быстрому обмену. Таким образом, наличие у яиц осетровых рыб воды, которая легко отдается яйцами в гипертонических растворах сахаров, и воды, связанной в яйце более прочно, зависит, повидимому, от каких-то более общих закономерностей обмена веществ зародыша с окружающей средой.

среде яйца отдают только часть воды, причем количество отдаваемой воды не зависит от силы осмотического давления окружающего раствора (до тех пор, пока яйцо не погибнет).

Интересно, что у яиц костистых рыб, для которых большой группой авторов (<sup>2-4</sup>) показана «непроницаемость» яиц для воды и других веществ, имеется лишь вода, связанная в яйце более прочно, и отсутствует вода, легко отдаваемая яйцом (<sup>5</sup>). Этим яйца костистых рыб резко отличаются от яиц осетровых рыб и амфибий.

В литературе имеются указания, свидетельствующие о том, что и другие вещества в яйце делятся на две категории: легко отдаваемые яйцом и связанные более прочно. На неоплодотворенных яйцах лягушки показано при помощи радиоактивного натрия

Поступило  
5 XI 1954

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. И. Зотин, ДАН, 89, № 2 (1953). <sup>2</sup> П. Г. Светлов, ДАН, 24, сер. А, № 24, 504 (1928). <sup>3</sup> J. Manery, L. Irving, J. Cell. Comp. Physiol., 5, No 4 (1935). <sup>4</sup> F. Hayes, F. Armstrong, Canad. J. Res., Sec. D, 20, № 5 (1942). <sup>5</sup> А. И. Зотин, Вопросы ихтиологии, в. 4 (1955). <sup>6</sup> Ph. Abelson, W. Duryee, Biol. Bull., 96, No. 3 (1949).