

DOI 10.35694/YARCX.2021.54.2.005



## ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДА РАУНДАП НА ПИЩЕВАРЕНИЕ У РЫБ (ОБЗОР)

И. Л. Голованова

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии рыб

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Панина РАН, п. Борок

главный научный сотрудник кафедры зоотехнии ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

*Гербициды, Раундап,  
глифосат, рыбы,  
пищеварительные  
ферменты,  
антропогенные  
факторы*

*Herbicides, Roundup,  
glyphosate, fish, digestive  
enzymes, anthropogenic  
factors*

В повышении урожайности сельскохозяйственных культур неоценимую помощь оказывают гербициды – химические средства, используемые для борьбы с сорной растительностью. Раундап, созданный на основе глифосата (N-(phosphonomethyl) glycine) в 70-е годы прошлого века американской компанией «Монсанто», является одним из самых популярных фосфорорганических гербицидов. Помимо активного ингредиента (изопропиламинавая соль глифосата или его кислотный эквивалент), в состав гербицида входят поверхностно-активные вещества, чаще всего полиоксиэтиленамин (РОЕА), а также биоциды, неорганические ионы и красители. Раундап широко используют для борьбы с нежелательной растительностью в садах, полях, парках и лесах, а также вдоль шоссе и железных дорог, линий электропередач, трасс нефте- и газопроводов и на территории промышленных предприятий. Кроме того, он незаменим для борьбы с борщевиком Сосновского, создающим серьёзную проблему в современном растениеводстве. В мировой практике Раундап часто применяют перед уборкой подсолнечника, рапса, проса, риса и сои, при этом зерно обработанных культур накапливает остаточные количества глифосата и его метаболитов [1], создавая угрозу для потребляющих его животных и человека. Но основное предназначение Раундапа – борьба с однолетними и многолетними сорняками при выращивании генетически модифицированных культур (кукурузы, пшеницы, сои, хлопка), запрограммированных на устойчивость к глифосату. Многолетнее использование этого гербицида привело к появлению устойчивых к нему сорных растений, что вынуждает фермеров вносить большие дозы и увеличивать кратность обработки посевов сельскохозяйственных культур [2].

Неуклонно растущие масштабы применения глифосатсодержащих гербицидов создают серьёзную экологическую проблему, повышая риск их воздействия на нецелевые организмы, в том числе и на рыб. Раундап попадает в водоёмы со сточными водами с поверхности земли, а также при непосредственном внесении в водохранилища, пруды, каналы и коллекторно-дренажные системы для борьбы с нежелательными растениями (рдесты, ряска, водный геацинт, камыш) [3]. Он способен разноситься по течению на большие расстояния, абсорбируясь на взвешенных частицах, и оседая в донных отложениях. Концентрация глифосата в поверхностных водах обычно не превышает 10–15 мкг/л, но вблизи районов непосредственного применения она достигает

700 мкг/л в воде и 5,0 мг/кг – в седиментах и почве [3; 4]. Максимальная безопасная концентрация глифосата, установленная для водных экосистем в США, составляет 700 мкг/л, для воды рыбохозяйственных водоёмов России она значительно ниже – 1 мкг/л. Период полураспада глифосата варьирует от 12 сут в воде до 120 сут в донных отложениях, в почве от 222 до 835 сут. Разложение глифосата происходит с участием микроорганизмов, главным продуктом его распада является аминотетрафосоновая кислота, которая в дальнейшем разлагается до глицина, аммония и углекислого газа [5]. Связывание одной из трёх групп ( $-NH_2$ ,  $-COOH$ ,  $-H_2PO_3$ ), входящих в состав глифосата, с хелатирующими металлами (Ca, Mn, Fe, Al, Cu, Zn, Pb), органическим углеродом и гуминовыми кислотами в донных отложениях значительно замедляет этот процесс.

Глифосат – неселективный гербицид широкого спектра действия. Он замедляет рост растений, ингибируя работу ферментов шикиматного пути и синтез трёх незаменимых аминокислот: фенилаланина, тирозина и триптофана [6]. Этот ферментный путь у животных отсутствует, что наряду с быстрой деградацией и сезонным применением глифосата позволяло считать его безопасным для окружающей среды и нецелевых организмов и подтверждалось в ряде исследований [3; 7; 8; 9; 10; 11]. Тем не менее, глифосат и продукты его разложения привлекли большой научный интерес, поскольку их часто обнаруживают в растениях, почве, воде, а также в некоторых продуктах питания и биологических жидкостях человека [1]. В последние годы вышел ряд научных обзоров, в которых обобщены результаты многочисленных исследований, доказывающих влияние глифосата и его коммерческих смесей на нецелевые организмы от беспозвоночных до высших позвоночных животных [1; 4; 5; 9; 11; 12; 13; 14; 15]. В этих работах продемонстрированы токсические эффекты глифосатсодержащих коммерческих смесей у одноклеточных организмов (бактерии, протисты, микоризные грибы), а также у многоклеточных организмов, таких как водоросли, низшие беспозвоночные (простейшие, кишечнорастворимые, плоские черви), кольчатые черви, членистоногие (ракообразные и насекомые), моллюски, иглокожие, рыбы, рептилии, амфибии и птицы. У высших позвоночных животных, включая человека, выявлены генотоксические и цитотоксические эффекты, гормональные нарушения, ядерные и хромосомные aberrации, а также повреждение ДНК [11; 16].

Рыбы являются хорошим биоиндикатором загрязнения водной среды. Установлено, что глифосатсодержащие гербициды вызывают целый спектр поведенческих [17; 18; 19], морфологи-

ческих [20; 21; 22], иммунологических [23; 24] и физиолого-биохимических изменений [11; 12; 25]. Они могут влиять на синтез гормонов [26], эмбриональное развитие [27; 28], активность ацетилхолинэстеразы и антиоксидантных ферментов [29; 30; 31], изменять энергетический метаболизм [32], оказывать мутагенный и генотоксический эффекты [33; 34]. Рыбы на ранних стадиях жизненного цикла наиболее чувствительны к гербициду [35]. Действие глифосата во время раннего эмбрионального развития рыб приводит к порокам развития икры, снижению скорости вылупления и выживаемости, а также к появлению различных уродств у эмбрионов [27]. Полулетальная концентрация Раундапа ( $LC_{50}$ ) за 96 ч для некоторых видов довольно высока – от 86 до 620 мг/л, однако для большинства видов она находится в диапазоне 2–55 мг/л в зависимости от вида и возраста рыб, а также от температуры и pH среды [11; 36]. Отмечено, что РОЕА, входящий в его состав, может быть даже более токсичен, чем активный ингредиент глифосат или сам Раундап [37]. Основным механизмом токсичности Раундапа и глифосата связывают с генерацией окислительного стресса в организме, а также с ингибированием активности ацетилхолинэстеразы, играющей важную роль в синаптической передаче нервного импульса.

Пищеварение – одна из основных функций, обеспечивающая организм пластическим и энергетическим материалом. Скорость переваривания и усвоения пищи, а также скорость роста рыб и продуктивность популяции в целом во многом зависят от активности пищеварительных ферментов (протеаз, гликозидаз и липаз, расщепляющих белки, углеводы и жиры соответственно). Различные антропогенные факторы, в том числе и Раундап, могут влиять на активность ферментов, гидролизующих основные компоненты корма, в желудке и кишечнике рыб [10; 12; 38; 39], а также в тканях объектов их питания [40; 41].

В экспериментах *in vivo* и *in vitro* выявлены изменения активности пищеварительных ферментов у рыб в присутствии Раундапа. В хронических опытах (90 суток) отмечено повышение активности панкреатических по происхождению амилазы, трипсина и химотрипсина в кишечнике, а также кислых пептидаз в желудке молоди лепорины *Leporinus obtusidens* (Val.) при концентрации Раундапа 1 и 5 мг/л (по глифосату). Важно отметить, что рост молоди замедлялся на фоне неизменного количества потребляемой пищи, что указывает на снижение доступности питательных веществ у рыб, обитающих в воде, загрязнённой этим гербицидом [38]. Хроническая (30 суток) экспозиция в растворе Раундапа концентрации 2 мкг/л (по глифосату) приводила к снижению амилитической активности в кишечнике молоди

ротана *Perccottus glenii* Dyb. [31]. Активность мембранного фермента мальтазы при этом не менялась, а рост значений константы Михаэлиса гидролиза мальтозы свидетельствует о снижении фермент-субстратного сродства при хроническом действии Раундапа [10].

В опытах *in vitro* установлено, что Раундап в широком диапазоне концентраций от 0,1 до 50 мкг/л (в расчёте на глифосат) может оказывать как тормозящий, так и стимулирующий эффект на активность кишечных гликозидаз у ряда видов пресноводных рыб [10]. Отмечено, что чувствительность гликозидаз к Раундапу выше у молоди, чем у половозрелых особей, а также у рыб бентофагов, чем у типичных хищников [10]. Так, Раундап снижает амилолитическую активность в слизистой оболочке кишечника молоди тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nord.), карпа *Cyprinus carpio* (L.), плотвы *Rutilus rutilus* (L.), окуня *Perca fluviatilis* L. и щуки *Esox lucius* L., а также взрослых рыб бентофагов плотвы, язя *Leuciscus idus* (L.) и планктофага тюльки на 8–56%. У взрослых хищников щуки, судака *Sander lucioperca* (L.), сома *Silurus glanis* L. и окуня эффекты отсутствуют. Активность мембранных ферментов мальтазы и сахаразы в присутствии Раундапа, как правило, повышается у молоди и снижается у взрослых рыб [10]. Гликозидазы в химусе (содержимом кишечника) у взрослых бентофагов плотвы и язя, а также молоди карпа наиболее чувствительны к действию гербицида по сравнению с другими исследованными видами [10]. Интересно отметить, что сверхмалые концентрации Раундапа от  $1 \cdot 10^{-13}$  до  $1 \cdot 10^{-5}$  мкг/л могут оказывать такой же тормозящий эффект на амилолитическую активность в слизистой оболочке кишечника молоди плотвы, как и концентрации, превышающие их на 2–17 порядков [43]. При этом практически во всём диапазоне исследованных концентраций Раундапа от  $1 \cdot 10^{-13}$  мкг/л до 1 г/л (по глифосату) амилолитическая активность была ниже контроля, активность мальтазы – выше контроля лишь при концентрациях гербицида от 0,01 мкг/л до 1 г/л.

Активность пептидаз слизистой оболочки кишечника и химуса у ряда видов пресноводных рыб в присутствии Раундапа концентрацией 0,01–100 мкг/л, как правило, снижается с ростом концентрации гербицида [39]. Устойчивость пептидаз к гербициду зависит от вида рыб. В слизистой оболочке кишечника наиболее устойчивы ферменты карпа, щуки и окуня, в химусе – карпа, густеры *Blicca bjoerkna* (L.) и щуки. Сила и направленность действия Раундапа зависят как от концентрации глифосата, так и от локализации ферментов (слизистая или химус) [39].

Установлено, что некоторые физические или химические факторы могут влиять не только на

активность пищеварительных ферментов, но и на их чувствительность к *in vitro* действию Раундапа. Так, повышение температуры воды в осенний сезон, противоречащее сезонному ходу событий, может усиливать чувствительность гликозидаз к гербициду в зависимости от скорости нагрева воды, типа фермента и субстрата [43]. Наибольшие изменения активности гликозидаз в присутствии *in vitro* Раундапа в концентрации 0,1–50 мкг/л выявлены в организме ротана при скорости нагрева воды 27°C/ч (мальтаза) и 0,02°C/ч (амилолитическая активность). Эти различия могут быть связаны с разной термостабильностью мальтазы и  $\alpha$ -амилазы, входящей в состав ферментов, гидролизующих крахмал [43].

Тепловой стресс (нагрев воды со скоростью 8°C/ч) меняет активность гликозидаз у рыб, подвергнутых хроническому 30-суточному воздействию Раундапа. Если амилолитическая активность в кишечнике молоди ротана при экспозиции в растворе гербицида концентрацией 2 мкг/л (по глифосату) была на 27% ниже, чем у рыб контрольной группы, то в результате теплового стресса торможение составило 60% [31]. При этом активность мальтазы после экспозиции в Раундапе снижалась на 18%, после нагрева воды она повышалась на 11% от контроля. Эти данные свидетельствуют о том, что резкое повышение температуры среды может менять чувствительность пищеварительных гликозидаз к хроническому действию низких концентраций Раундапа.

Кроме того, хроническая (30 суток) экспозиция в растворе Раундапа концентрацией 2 мкг/л (по глифосату) в 3–3,5 раза снижала чувствительность гликозидаз, гидролизующих крахмал, в кишечнике молоди ротана к *in vitro* действию Раундапа. При этом прямая зависимость силы эффекта от концентрации гербицида в диапазоне 0,1–50 мкг/л отсутствует [10].

Воздействие магнитной бури (в диапазоне частот 0–5 Гц) в период раннего эмбрионального развития повышает чувствительность гликозидаз в кишечнике развивающихся сеголетков плотвы к Раундапу. У 4-месячной молоди плотвы, подвергнутой воздействию магнитной бури в период 48–72 ч после оплодотворения, амилолитическая активность в присутствии Раундапа (0,1–50 мкг/л по глифосату) снижается в 2,5–3 раза больше, чем у рыб контрольной группы [43].

Усиление негативного действия Раундапа *in vitro* на активность гликозидаз в слизистой оболочке кишечника молоди леща выявлено и при наличии в корме полихлорированных бифенилов (коммерческий препарат Aroclor 1254 в концентрации 2 мг/г сухой массы корма), демонстрируя синергический эффект действия загрязнителей. При этом показано, что чувствительность ферментов,

гидролизующих крахмал, зависит от длительности поступления бифенилов. Если на 7-е сутки эксперимента активность ферментов у рыб контрольной и опытной групп не различалась, то на 14-е сутки торможение амилолитической активности у рыб опытной группы было значительно выше при концентрациях Раундапа 10 и 50 мкг/л [10].

Сравнительный анализ выявил, что гликозидазы кишечника плотвы из загрязнённого района Рыбинского водохранилища (Шекснинский плёс) более чувствительны к *in vitro* действию Раундапа по сравнению с рыбами из более чистого района (Волжский плёс), что может быть связано с молекулярной разнокачественностью ферментов, функционирующих в кишечнике рыб из разных по степени антропогенной нагрузки мест обитания [10].

В экспериментах *in vitro* показано, что гликозидазы слизистой оболочки кишечника рыб обладают разной чувствительностью к действию Раундапа в диапазоне температуры инкубации 0–20°C и pH 5,0–8,3 [44; 45]. Низкая температура и кислые значения pH могут усиливать тормозящее действие Раундапа на амилолитическую активность у молоди рыб. При совместном действии низкой температуры 0°C, pH 5,0 и Раундапа в концентрации 25 мкг/л наибольшее снижение амилолитической активности на 72–98% отмечено у окуня, тюльки *Clupeonella cultriventris* (Nordmann) и карпа *Cyprinus carpio* (L.), [44]. У взрослых рыб ихтиофагов щуки, судака, сома *Silurus glanis* L., налима *Lota lota* (L.) и окуня также выявлена зависимость силы и направленности эффекта от вида рыб, локализации ферментов, температуры и pH [45]. Наибольшее снижение амилолитической активности слизистой оболочки кишечника и химуса половозрелых рыб Раундап вызывает при кислых значениях pH. Понижение температуры при нейтральных значениях pH, как правило, уменьшает тормозящий эффект Раундапа на гликозидазы слизистой оболочки, при кислых значениях, напротив, усиливает его. Эти данные позволяют предположить, что Раундап в концентрациях, встречающихся в компонентах водной среды, может снижать скорость начальных этапов ассимиляции углеводов у молоди и взрослых рыб, особенно при кислых значениях pH.

### **Заключение**

В последние тридцать лет применение глифосатсодержащих гербицидов неуклонно растёт, что создаёт повышенную вероятность их воздействия на водные экосистемы. Проблема экологического риска использования глифосата широко дискутируется, а его способность быстро разлагаться служит аргументом против потенциальных негативных эффектов. В то же время токсическое действие гербицида на гидробионтов может проявиться ещё до его полного распада, при этом коммерческие смеси за счёт дополнительных компонентов могут быть более опасными, чем сам глифосат. Крупномасштабное загрязнение при биомагнификации глифосатсодержащих гербицидов представляется маловероятным. Однако в ряде работ отмечена аккумуляция глифосата в тканях беспозвоночных и рыб (Annet et al., 2014) при его повышенном содержании в пище или воде, что предполагает возможное накопление по пищевой цепи. Полученные в настоящее время многочисленные данные свидетельствуют о том, что Раундап и глифосат, а также продукты их разложения даже в низких концентрациях могут влиять на разные аспекты жизнедеятельности рыб, в том числе и на пищеварительную функцию. Реакция различных систем организма неспецифична. Она зависит от вида и возраста рыб, концентрации гербицида и продолжительности его воздействия, а также ряда природных и антропогенных факторов. Токсичность глифосатсодержащих гербицидов в настоящее время явно недооценивается. В дальнейшем необходимо особое внимание уделить выявлению долговременных эффектов глифосатсодержащих гербицидов и пересмотру норм их содержания в окружающей среде.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке в рамках государственного задания № 121051100100-8 «Популяционные, морфологические и структурно-физиологические адаптации паразитов пресноводных гидробионтов в изменяющихся условиях среды» и инициативной темы № АААА-А16-116090850007-7 «Повышение эффективности использования биологических и породных ресурсов различных видов домашних и сельскохозяйственных животных, рыб и птиц».

### **Литература**

1. Watts, M. Glyphosate / M. Watts, P. Clausen, A. Lyssimachou, G. Schutte, R. Guadagnini, E. Marquer. – Text : electronic // Pesticide Action Network (PAN) International. – 2016. – URL: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>.
2. Benbrook, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally / C. M. Benbrook. – Text : unmediated // Environ. Sci. Eur. – 2016. – V. 28. – № 3. – P. 1–15.
3. Robichaud, C. D. Low concentrations of glyphosate in water and sediment after direct over-water application to control an invasive aquatic plant / C. D. Robichaud, R. C. Rooney. – Text : electronic // Water Research. – 2021. – V. 188. – 116573. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116573>.

4. Ansari, M. Toxicity, biodegradability and detection methods of glyphosate, the most used herbicide: a systematic review / M. Ansari, B. Hatami, S. Sedighi-Khavidak. – Text : unmediated // J. Environ Health Sustain Dev. – 2019. – V. 4. – Is. 2. – P. 731–743.
5. Singh, S. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation / S. Singh, V. Kumar, J. P. K. Gill et al. – Text : electronic // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – V. 17 (20). – 7519. – DOI: 10.3390/ijerph17207519.
6. Williams, G. M. Safety evaluation and risk assessment of herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans / G. M. Williams, R. Kroes, I. C. Munro. – Text : unmediated // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2000. – V. 31. – № 2. – P. 117–165.
7. Giesy, J. P. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide / J. P. Giesy, S. Dobson, K. R. Solomon. – Text : unmediated // Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 2000. – V. 167. – P. 35–120.
8. Kier, L. D. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations / L. D. Kier, D. J. Kirkland. – Text : unmediated // Crit. Rev. Toxicol. – 2013. – V. 43. – № 4. – P. 283–315.
9. Annet, R. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicide on freshwater environment / R. Annet, H. R. Habibi, A. Hontela. – Text : unmediated // J. Appl. Toxicol. – 2014. – V. 34. – № 5. – P. 458–479.
10. Аминов, А. И. Влияние гербицида Раундап на гликозидазы рыб и объектов их питания : специальность 03.02.08 «Экология (биологические науки)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Александр Иванович Аминов ; Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук. – Нижний Новгород, 2018. – 24 с. – Текст : непосредственный.
11. Gill, J. P. K. Glyphosate toxicity for animals / J. P. K. Gill, N. Sethi, A. Mohan et al. – Text : unmediated // Environ. Chem. Letters. – 2018. – V. 16. – № 2. – P. 401–426.
12. Голованова, И. Л. Физиолого-биохимический статус рыб под действием глифосатсодержащих гербицидов (обзор) / И. Л. Голованова, А. И. Аминов. – Текст : непосредственный // Биология внутренних вод. – 2019. – № 3. – С. 83–94. – ISSN 0320-9652.
13. Villamar-Ayala, C. A. Fate, eco-toxicological characteristics, and treatment processes applied to water polluted with glyphosate: a critical review / C. A. Villamar-Ayala, J. V. Carrera-Cevallos, R. Vasquez-Medrano, P. J. Espinoza-Montero. – Text : unmediated // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2019. – V. 49. – Is. 16. – P. 1476–1514.
14. Bojarski, B. Blood biomarkers of herbicide, insecticide, and fungicide toxicity to fish—a review / B. Bojarski, M. Witeska. – Text : unmediated // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2020. – V. 27. – Is. 16. – P. 19236–19250.
15. Thanomsit, C. Glyphosate (Roundup): fate in aquatic environment, adverse effect and toxicity assessment in aquatic organisms / C. Thanomsit, S. Saowakoon, A. Wattanakornsiri et al. – Text : unmediated // Naresuan University Journal: Science and Technology. – 2020. – V. 28. – № 1. – P. 65–81.
16. Ghisi, N. C. Glyphosate and its toxicology: A scientometric review / N. C. Ghisi, N. R. Zuanazzi, T. M. C. Fabrin, E. C. Oliveira. – Text : electronic // Science of The Total Environment. – 2020. – V. 733. – 139359. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139359>.
17. Zhang, S. Biological impacts of glyphosate on morphology, embryo biomechanics and larval behavior in zebrafish (*Danio rerio*) / S. Zhang, J. Xu, X. Kuang et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 181. – P. 270–280.
18. Pompermaier, A. Waterborne agrichemicals compromise the anti-predatory behavior of zebrafish / A. Pompermaier, K. Kirsten, S. M. Soares et al. – Text : unmediated // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – V. 27. – Is. 31. – P. 38559–38567.
19. Forner-Piquer, I. Differential impact of dose-range glyphosate on locomotor behavior, neuronal activity, gliocerebrovascular structures, and transcript regulations in zebrafish larvae / I. Forner-Piquer, A. Faucherre, J. Byram et al. – Text : electronic // Chemosphere. – 2021. – V. 267. – 128986. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128986>.
20. Жиденко, А. А. Реакция карповых рыб на действие глифосата / А. А. Жиденко, Т. В. Мищенко, В. В. Кривопиша. – Текст : непосредственный // Научные записки Тернопольского нац. пед. ун-та. Сер. Биол. – 2015. – Т. 64. – № 3–4. – С. 227–230. – ISSN 2078-2357.
21. Заботкина, Е. А. Изменение ультраструктуры иммунокомпетентных клеток в почках, селезенке и печени головешки-ротана *Perccottus glenii* под влиянием пестицида Раундап / Е. А. Заботкина, В. К. Голованов, И. Л. Голованова. – Текст : непосредственный // Труды ВНИРО: Промысловые виды и их биология. – 2016. – Т. 162. – С. 73–81. – ISSN 2307-3497.
22. Dos Santos, A. P. R. A glyphosate-based herbicide induces histomorphological and protein expression changes in the liver of the female guppy *Poecilia reticulata* / A. P. R. Dos Santos, T. L. Rocha, C. L. Borges et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 168. – P. 933–943.
23. Richard, S. Effect of a glyphosate-based herbicide on gene expressions of the Cytokines Interleukin-1 $\beta$  and Interleukin-10 and Heme Oxygenase-1 in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. / S. Richard, N. Prevot-D'Alvise, R. Bunet et al. – Text : unmediated // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2014. – V. 92. – № 3. – P. 294–299.

24. Zabotkina, E. A. Effects of Roundup herbicide and increase in water temperature on the parameters of peripheral blood cells in Amur sleeper *Perccottus glenii* Dybowski / E. A. Zabotkina, V. K. Golovanov, I. L. Golovanova. – Text : unmediated // Inland Water Biology. – 2018. – V. 11. – № 2. – P. 207–213.
25. Fan, J. Y. Herbicide Roundup and its constituents cause oxidative stress and inhibit acetylcholinesterase in liver of *Carassius auratus* / J. Y. Fan, J. J. Geng, H. Q. Ren et al. – Text : unmediated // J. Environ. Sci. Health. – 2013. – Part B. – V. 48. – № 10. – P. 844–850.
26. Webster, T. M. U. Effects of glyphosate and its formulation, Roundup, on reproduction in Zebrafish (*Danio rerio*) / T. M. U. Webster, L. V. Laing, H. Florance, E. M. Santos. – Text : unmediated // Environ. Sci. Technol. – 2014. – V. 48. – P. 1271–1279.
27. Lugowska, K. The effects of Roundup on gametes and early development of common carp (*Cyprinus carpio* L) / K. Lugowska. – Text : unmediated // Fish Physiol. Biochem <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Fish+Physiol+Biochem%22%5BTitle+Abbreviation%5Dhttps://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29627927/>. – 2018. – V. 44. – Is. 4. – P. 1109–1117.
28. Zebal, Y. D. A glyphosate-based herbicide reduces fertility, embryonic upper thermal tolerance and alters embryonic diapause of the threatened annual fish *Austrolebias nigrofasciatus* / Y. D. Zebal, L. R. Lansini, P. G. Costa et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2018. – V. 196. – P. 260–269.
29. Modesto, K. A. Effects of Roundup Transorb on fish: hematology, antioxidant defences and acetylcholinesterase activity / K. A. Modesto, C. B. R. Martinez. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2010. – V. 81. – P. 781–787.
30. De Moura, F. R. Oxidative stress in the hybrid fish jundiara (*Leiarius marmoratus* x *Pseudoplatystoma reticulatum*) exposed to Roundup Original® / F. R. De Moura, K. R. Brentegani, A. Gemelli et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 185. – P. 445–451.
31. Golovanova, I. L. Effects of Roundup herbicide at low concentration and of thermal stress on physiological and biochemical parameters in Amur sleeper *Perccottus glenii* Dybowski juveniles / I. L. Golovanova, V. K. Golovanov, G. M. Chuiko et al. – Text : unmediated // Inland Water Biology. – 2019. – № 4. – P. 462–469.
32. Menendez-Helman, R. J. Subcellular energy balance of *Odontesthes bonariensis* exposed to a glyphosate-based herbicide / R. J. Menendez-Helman, L. A. Miranda, M. S. Afonso, A. Salibian. – Text : unmediated // Ecotoxicol. Environ. Safety. – 2015. – V. 114. – P. 157–163.
33. Kier, L. D. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations / L. D. Kier, D. J. Kirkland. – Text : unmediated // Crit. Rev. Toxicol. – 2013. – V. 43. – № 4. – P. 283–315.
34. Moreno, N. C. Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus* / N. C. Moreno, S. H. Sofia, C. B. R. Martinez. – Text : unmediated // Environ. Toxicol. Pharmacol. – 2014. – V. 37. – № 1. – P. 448–454.
35. Santos, S. W. A glyphosate-based herbicide induces sub-lethal effects in early life stages and liver cell line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / S. W. Santos, P. Gonzalez, B. Cormier et al. – Text : electronic // Aquatic Toxicology. – 2019. – V. 216. – 105291. – DOI: 10.1016/j.aquatox.2019.105291.
36. Davico, C. E. Reproductive toxicity of Roundup WG® herbicide: impairments in ovarian follicles of model organism *Danio rerio* / C. E. Davico, A. G. Pereira, L. Nezzi et al. – Text : unmediated // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2021. – V. 28. – P. 15147–15159.
37. Tóth, G. Cytotoxicity and hormonal activity of glyphosate-based herbicides / G. Tóth, J. Háhn, J. Radó, D. A. Szalai, B. Kriszt, S. Szoboszlai. – Text : electronic // Environmental Pollution. – 2020. – V. 265. – (Pt B). – 115027. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115027>.
38. Salbego, J. Glifosato sobre a atividade de enzimas digestivas em piavas (*Leporinus obtusidens*) / J. Salbego, A. Pretto, V. M. M. da Silva et al. – Text : unmediated // Ciência Rural. – 2014. – V. 44. – № 9. – P. 1603–1607.
39. Кузьмина, В. В. Влияние гербицида Раундап на активность пептидаз в кишечнике у рыб разных видов / В. В. Кузьмина, А. Ф. Тарлева, В. А. Шептицкий. – Текст : непосредственный // Вопросы ихтиологии. – 2017. – № 4. – С. 607–613. – ISSN 0042-8752.
40. Папченкова, Г. А. Репродуктивные показатели, размеры и активность гидролаз у *Daphnia magna* в ряду поколений при действии гербицида Раундап / Г. А. Папченкова, И. Л. Голованова, Н. В. Ушакова. – Текст : непосредственный // Биология внутренних вод. – 2009. – № 3. – С. 105–110. – ISSN 0320-9652.
41. Аминов, А. И. Влияние гербицида Раундап на активность гликозидаз в организме беспозвоночных животных и молоди рыб / А. И. Аминов, И. Л. Голованова, А. А. Филиппов. – Текст : непосредственный // Биология внутренних вод. – 2013. – № 4. – С. 82–88. – ISSN 0320-9652.
42. Голованова, И. Л. Влияние сверхнизких концентраций Раундапа на активность гликозидаз у молоди рыб / И. Л. Голованова, А. И. Аминов, Г. А. Урванцева, М. С. Смирнов. – Текст : непосредственный // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 100–107. – ISSN 2073-5529.
43. Голованова, И. Л. Влияние некоторых экологических факторов на чувствительность гликозидаз рыб к действию гербицида Раундап *in vitro* / И. Л. Голованова, А. И. Аминов. – Текст : непосредственный // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия: Экологические исследования. – 2016. – № 12. – С. 96–105. – ISSN 1997-3217.

44. Голованова, И. Л. Влияние гербицида Раундап на активность гликозидаз молоди рыб и их кормовых объектов при различных значениях температуры и pH / И. Л. Голованова, А. И. Аминов. – Текст : непосредственный // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 129–134. – ISSN 2073-5529.
45. Аминов, А. И. Влияние Раундапа на активность гликозидаз в кишечнике типичных и факультативных ихтиофагов в зависимости от температуры и pH / А. И. Аминов, И. Л. Голованова. – Текст : непосредственный // Биология внутренних вод. – 2020. – № 2. – С. 174–179. – ISSN 0320-9652.

#### References

1. Watts, M. Glyphosate / M. Watts, P. Clausing, A. Lyssimachou, G. Schutte, R. Guadagnini, E. Marquer. – Text : electronic // Pesticide Action Network (PAN) International. – 2016. – URL: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>.
2. Benbrook, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally / C. M. Benbrook. – Text : unmediated // Environ. Sci. Eur. – 2016. – V. 28. – № 3. – P. 1–15.
3. Robichaud, C. D. Low concentrations of glyphosate in water and sediment after direct over-water application to control an invasive aquatic plant / C. D. Robichaud, R. C. Rooney. – Text : electronic // Water Research. – 2021. – V. 188. – 116573. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116573>.
4. Ansari, M. Toxicity, biodegradability and detection methods of glyphosate, the most used herbicide: a systematic review / M. Ansari, B. Hatami, S. Sedighi-Khavidak. – Text : unmediated // J. Environ Health Sustain Dev. – 2019. – V. 4. – Is. 2. – P. 731–743.
5. Singh, S. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation / S. Singh, V. Kumar, J. P. K. Gill et al. – Text : electronic // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2020. – V. 17 (20). – 7519. – DOI: 10.3390/ijerph17207519.
6. Williams, G. M. Safety evaluation and risk assessment of herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans / G. M. Williams, R. Kroes, I. C. Munro. – Text : unmediated // Regul. Toxicol. Pharmacol. – 2000. – V. 31. – № 2. – P. 117–165.
7. Giesy, J. P. Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide / J. P. Giesy, S. Dobson, K. R. Solomon. – Text : unmediated // Rev. Environ. Contam. Toxicol. – 2000. – V. 167. – P. 35–120.
8. Kier, L. D. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations / L. D. Kier, D. J. Kirkland. – Text : unmediated // Crit. Rev. Toxicol. – 2013. – V. 43. – № 4. – P. 283–315.
9. Annet, R. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicide on freshwater environment / R. Annet, H. R. Habibi, A. Hontela. – Text : unmediated // J. Appl. Toxicol. – 2014. – V. 34. – № 5. – P. 458–479.
10. Aminov, A. I. Vlijanie gerbicida Raundap na glikozidazy ryb i ob#ektov ih pitanija : special'nost' 03.02.08 «Jekologija (biologicheskie nauki)» : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk / Aleksandr Ivanovich Aminov ; Institut biologii vnutrennih vod im. I. D. Papanina Rossijskoj akademii nauk. – Nizhnij Novgorod, 2018. – 24 s. – Tekst : neposredstvennyj.
11. Gill, J. P. K. Glyphosate toxicity for animals / J. P. K. Gill, N. Sethi, A. Mohan et al. – Text : unmediated // Environ. Chem. Letters. – 2018. – V. 16. – № 2. – P. 401–426.
12. Golovanova, I. L. Fiziologo-biohimicheskij status ryb pod dejstviem glifosatsoderzhashhih gerbicidov (obzor) / I. L. Golovanova, A. I. Aminov. – Tekst : neposredstvennyj // Biologija vnutrennih vod. – 2019. – № 3. – S. 83–94. – ISSN 0320-9652.
13. Villamar-Ayala, C. A. Fate, eco-toxicological characteristics, and treatment processes applied to water polluted with glyphosate: a critical review / C. A. Villamar-Ayala, J. V. Carrera-Cevallos, R. Vasquez-Medrano, P. J. Espinoza-Montero. – Text : unmediated // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2019. – V. 49. – Is. 16. – P. 1476–1514.
14. Bojarski, B. Blood biomarkers of herbicide, insecticide, and fungicide toxicity to fish—a review / B. Bojarski, M. Witeska. – Text : unmediated // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2020. – V. 27. – Is. 16. – P. 19236–19250.
15. Thanomsit, C. Glyphosate (Roundup): fate in aquatic environment, adverse effect and toxicity assessment in aquatic organisms / C. Thanomsit, S. Saowakoon, A. Wattanakornsiri et al. – Text : unmediated // Naresuan University Journal: Science and Technology. – 2020. – V. 28. – № 1. – P. 65–81.
16. Ghisi, N. C. Glyphosate and its toxicology: A scientometric review / N. C. Ghisi, N. R. Zuanazzi, T. M. C. Fabrin, E. C. Oliveira. – Text : electronic // Science of The Total Environment. – 2020. – V. 733. – 139359. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139359>.
17. Zhang, S. Biological impacts of glyphosate on morphology, embryo biomechanics and larval behavior in zebrafish (*Danio rerio*) / S. Zhang, J. Xu, X. Kuang et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 181. – P. 270–280.
18. Pompermaier, A. Waterborne agrichemicals compromise the anti-predatory behavior of zebrafish / A. Pompermaier, K. Kirsten, S. M. Soares et al. – Text : unmediated // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – V. 27. – Is. 31. – P. 38559–38567.
19. Forner-Piquer, I. Differential impact of dose-range glyphosate on locomotor behavior, neuronal activity, glio-cerebrovascular structures, and transcript egulations in zebrafish larvae / I. Forner-Piquer, A. Faucherre,

- J. Byram et al. – Text : electronic // Chemosphere. – 2021. – V. 267. – 128986. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128986>.
20. 20. Zhidenko, A. A. Reakcija karpovih ryb na dejstvie glifosata / A. A. Zhidenko, T. V. Mishchenko, V. V. Krivopisha. – Tekst : neposredstvennyj // Nauchnye zapiski Ternopol'skogo nac. ped. un-ta. Ser. Biol. – 2015. – T. 64. – № 3–4. – S. 227–230. – ISSN 2078-2357.
21. 21. Zobotkina, E. A. Izmenenie ul'trastruktury immunokompetentnyh kletok v pochkah, selezenke i pecheni goloveshki-rotana *Percottus glenii* pod vlijaniem pesticida Raundap / E. A. Zobotkina, V. K. Golovanov, I. L. Golovanova. – Tekst : neposredstvennyj // Trudy VNIRO: Promyslovye vidy i ih biologija. – 2016. – T. 162. – S. 73–81. – ISSN 2307-3497.
22. 22. Dos Santos, A. P. R. A glyphosate-based herbicide induces histomorphological and protein expression changes in the liver of the female guppy *Poecilia reticulata* / A. P. R. Dos Santos, T. L. Rocha, C. L. Borges et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 168. – P. 933–943.
23. Richard, S. Effect of a glyphosate-based herbicide on gene expressions of the Cytokines Interleukin-1 $\beta$  and Interleukin-10 and Heme Oxygenase-1 in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. / S. Richard, N. Prevot-D'Alvise, R. Bunet et al. – Text : unmediated // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2014. – V. 92. – № 3. – P. 294–299.
24. Zobotkina, E. A. Effects of Roundup herbicide and increase in water temperature on the parameters of peripheral blood cells in Amur sleeper *Percottus glenii* Dybowski / E. A. Zobotkina, V. K. Golovanov, I. L. Golovanova. – Text : unmediated // Inland Water Biology. – 2018. – V. 11. – № 2. – P. 207–213.
25. Fan, J. Y. Herbicide Roundup and its constituents cause oxidative stress and inhibit acetylcholinesterase in liver of *Carassius auratus* / J. Y. Fan, J. J. Geng, H. Q. Ren et al. – Text : unmediated // J. Environ. Sci. Health. – 2013. – Part B. – V. 48. – № 10. – P. 844–850.
26. Webster, T. M. U. Effects of glyphosate and its formulation, Roundup, on reproduction in Zebrafish (*Danio rerio*) / T. M. U. Webster, L. V. Laing, H. Florance, E. M. Santos. – Text : unmediated // Environ. Sci. Technol. – 2014. – V. 48. – P. 1271–1279.
27. Lugowska, K. The effects of Roundup on gametes and early development of common carp (*Cyprinus carpio* L.) / K. Lugowska. – Text : unmediated // Fish Physiol. Biochem <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog?term=%22Fish+Physiol+Biochem%22%5BTitle+Abbreviation%5Dhttps://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29627927/>. – 2018. – V. 44. – Is. 4. – P. 1109–1117.
28. Zebal, Y. D. A glyphosate-based herbicide reduces fertility, embryonic upper thermal tolerance and alters embryonic diapause of the threatened annual fish *Austrolebias nigrofasciatus* / Y. D. Zebal, L. R. Lansini, P. G. Costa et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2018. – V. 196. – P. 260–269.
29. Modesto, K. A. Effects of Roundup Transorb on fish: hematology, antioxidant defences and acetylcholinesterase activity / K. A. Modesto, C. B. R. Martinez. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2010. – V. 81. – P. 781–787.
30. De Moura, F. R. Oxidative stress in the hybrid fish jundiara (*Leiarius marmoratus* x *Pseudoplatystoma reticulatum*) exposed to Roundup Original® / F. R. De Moura, K. R. Brentegani, A. Gemelli et al. – Text : unmediated // Chemosphere. – 2017. – V. 185. – P. 445–451.
31. Golovanova, I. L. Effects of Roundup herbicide at low concentration and of thermal stress on physiological and biochemical parameters in Amur sleeper *Percottus glenii* Dybowski juveniles / I. L. Golovanova, V. K. Golovanov, G. M. Chuiko et al. – Text : unmediated // Inland Water Biology. – 2019. – № 4. – P. 462–469.
32. Menendez-Helman, R. J. Subcellular energy balance of *Odontesthes bonariensis* exposed to a glyphosate-based herbicide / R. J. Menendez-Helman, L. A. Miranda, M. S. Afonso, A. Salibian. – Text : unmediated // Ecotoxicol. Environ. Safety. – 2015. – V. 114. – P. 157–163.
33. Kier, L. D. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations / L. D. Kier, D. J. Kirkland. – Text : unmediated // Crit. Rev. Toxicol. – 2013. – V. 43. – № 4. – P. 283–315.
34. Moreno, N. C. Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus* / N. C. Moreno, S. H. Sofia, C. B. R. Martinez. – Text : unmediated // Environ. Toxicol. Pharmacol. – 2014. – V. 37. – № 1. – P. 448–454.
35. Santos, S. W. A glyphosate-based herbicide induces sub-lethal effects in early life stages and liver cell line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / S. W. Santos, P. Gonzalez, B. Cormier et al. – Text : electronic // Aquatic Toxicology. – 2019. – V. 216. – 105291. – DOI: 10.1016/j.aquatox.2019.105291.
36. Davico, C. E. Reproductive toxicity of Roundup WG® herbicide: impairments in ovarian follicles of model organism *Danio rerio* / C. E. Davico, A. G. Pereira, L. Nezzi et al. – Text : unmediated // Environ. Sci. Pollut. Res. – 2021. – V. 28. – P. 15147–15159.
37. Tóth, G. Cytotoxicity and hormonal activity of glyphosate-based herbicides / G. Tóth, J. Háhn, J. Radó, D. A. Szalai, B. Kriszt, S. Szoboszlai. – Text : electronic // Environmental Pollution. – 2020. – V. 265. – (Pt B). – 115027. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115027>.
38. Salbego, J. Glifosato sobre a atividade de enzimas digestivas em piavas (*Leporinus obtusidens*) / J. Salbego, A. Pretto, V. M. M. da Silva et al. – Text : unmediated // Ciência Rural. – 2014. – V. 44. – № 9. – P. 1603–1607.

39. Kuz'mina, V. V. Vlijanie gerbicide Raundap na aktivnost' peptidaz v kishhechnike u ryb raznyh vidov / V. V. Kuz'mina, A. F. Tarleva, V. A. Sheptitskij. – Tekst : neposredstvennyj // Voprosy ihtiologii. – 2017. – № 4. – S. 607–613. – ISSN 0042-8752.

40. Papchenkova, G. A. Reprodukativnye pokazateli, razmery i aktivnost' gidrolaz u Daphnia magna v rjadu pokolenij pri dejstvii gerbicide Raundap / G. A. Papchenkova, I. L. Golovanova, N. V. Ushakova. – Tekst : neposredstvennyj // Biologija vnutrennih vod. – 2009. – № 3. – S. 105–110. – ISSN 0320-9652.

41. Aminov, A. I. Vlijanie gerbicide Raundap na aktivnost' glikozidaz v organizme bespozvonochnyh zhivotnyh i molodi ryb / A. I. Aminov, I. L. Golovanova, A. A. Filippov. – Tekst : neposredstvennyj // Biologija vnutrennih vod. – 2013. – № 4. – С. 82–88. – ISSN 0320-9652.

42. Golovanova, I. L. Vlijanie sverhnizkih koncentracij Raundapa na aktivnost' glikozidaz u molodi ryb / I. L. Golovanova, A. I. Aminov, G. A. Urvantseva, M. S. Smirnov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik AGTU. Serija: Rybnoe hozjajstvo. – 2016. – № 2. – S. 100–107. – ISSN 2073-5529.

43. Golovanova, I. L. Vlijanie nekotoryh jekologicheskikh faktorov na chuvstvitel'nost' glikozidaz ryb k dejstvu gerbicide Raundap in vitro / I. L. Golovanova, A. I. Aminov. – Tekst : neposredstvennyj // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Serija: Jekologicheskie issledovanija. – 2016. – № 12. – S. 96–105. – ISSN 1997-3217.

44. Golovanova, I. L. Vlijanie gerbicide Raundap na aktivnost' glikozidaz molodi ryb i ih kormovyh ob#ektov pri razlichnyh znachenijah temperatury i pH / I. L. Golovanova, A. I. Aminov. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik AGTU. Serija: Rybnoe hozjajstvo. – 2013. – № 1. – S. 129–134. – ISSN 2073-5529.

45. Aminov, A. I. Vlijanie Raundapa na aktivnost' glikozidaz v kishhechnike tipichnyh i fakul'tativnyh ihtiofagov v zavisimosti ot temperatury i rN / A. I. Aminov, I. L. Golovanova. – Tekst : neposredstvennyj // Biologija vnutrennih vod. – 2020. – № 2. – S. 174–179. – ISSN 0320-9652.

## В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО ЯРОСЛАВСКАЯ ГСХА В 2020 ГОДУ ВЫШЛА МОНОГРАФИЯ

**М.В. СТЕПАНОВОЙ**

### СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТОКСИЧНЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕЛЬСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

В монографии отражены результаты проведённых научных исследований содержания некоторых микроэлементов и токсичных тяжёлых металлов в депонирующих средах, продуктах питания и биосубстратах человека в сельских и промышленных территориях Ярославской области методом инверсионной вольтамперометрии.

В работе представлен большой объём данных, достоверность которых подтверждается методами математической статистики, представлено много иллюстрационного материала. Монография имеет несомненную научную значимость, внося вклад в современную теорию распределения тяжёлых металлов, включая эссенциальные элементы, в окружающей среде и организме животных и человека, а также существенную практическую ценность, заключающуюся в возможности использования представленных материалов для оценки экологической ситуации на территории Ярославской области и для прогноза состояния здоровья детей дошкольного возраста в связи с биоаккумуляцией ими токсичных тяжёлых металлов и микроэлементов в зависимости от их места проживания и состояния их физического развития.

Монография предназначена для научных сотрудников, преподавателей вузов, аспирантов, студентов. Она может быть использована в учебном процессе и в практической работе.

УДК 631.41:631.453; ББК 40.323:20.1; ISBN 978-5-98914-229-3; 172 стр.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:  
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru