

Биогеохимическая роль дождевых червей в почвенных экосистемах. Краткая история исследований и современные представления

Аннотация. Проведен анализ российской и мировой научной литературы, посвященной изучению роли дождевых червей в биогеохимических и агроэкологических процессах. Кратко рассмотрена ретроспектива исследований почвообразующих свойств данной группы организмов. В настоящее время к наиболее значимым биогеохимическим аспектам жизнедеятельности дождевых червей разных видов относят способность к продукции гранул карбоната кальция и одиночных кристаллов кальцита. Ведущую роль в данном процессе играют кальциевые железы дождевых червей. Карбонатные гранулы, продуцируемые дождевыми червями, обнаруживают вариацию морфологических характеристик, обусловленную родовой, видовой и популяционной специфичностью. Черви рода *Lumbricus* продуцируют хорошо заметные, крупные карбонатные гранулы, в то время как большинство видов *Eisenia* не продуцируют гранул вообще, выделяя одиночные кристаллы кальцита. Карбонатные гранулы, продуцируемые дождевыми червями, могут оставаться в почве продолжительное время – до нескольких десятков тысяч лет. Продолжительность существования карбонатных гранул в почве зависит от уровня насыщения почвенного раствора кальцитом. Карбонатные гранулы, продуцируемые дождевыми червями, могут составлять до одного процента от запасов почвенного углерода, порядка нескольких процентов от запасов валового кальция и десятки процентов от общего количества обменного кальция в почвах. Восполнение почвенного пула углерода и кальция является важнейшей биогеохимической функцией дождевых червей в масштабах биосферы.

Ключевые слова: дождевые черви, биогеохимические циклы, почвенный баланс углерода и кальция.

DOI: 10.32523/2616-7034-2022-140-3-116-129

Введение

Одним из первых, кто представил на суд широкой научной общественности труд, посвященный роли дождевых червей в биосфере, был патриарх современной эволюционной биологии Чарльз Дарвин. В 1881 г., когда до смерти учёного оставалось менее года, выходит в свет его последняя книга «The Formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits» [1], впоследствии вошедшая в сокровищницу научного знания новейшего времени. Книга Дарвина явилась, пожалуй, первой серьезной попыткой всестороннего исследования процессов, которые в дальнейшем стали обозначать английским термином «Bioturbation», то есть переработка почвы и разложение органических остатков живыми организмами [2].

В начале XX в. публикуется статья российских ученых Гедройца и Аншальда, посвященная химическим аспектам жизнедеятельности кольчатых червей в почве [3]. На протяжении всего 20-го столетия представители отечественной школы почвоведения и агрохимии неизменно находились в авангарде самых современных и актуальных на тот момент времени исследований функций и роли дождевых червей в естественных экосистемах и агроэкосистемах.

Широкий круг вопросов, касающихся участия дождевых червей в почвообразовании, рассматривался в трудах А.А. Соколова [4], О.В. Чекановской [5], Г.Ф. Курчевой [6,7]. Плодородие и формирование структуры лесных почв под влиянием жизнедеятельности дождевых червей

изучалось П.У. Бахтиным [8] и А.И. Зражевским [9,10]. Проблемам влияния червей на химические свойства почв посвящена монография литовского учёного И.Ю. Ванаса [11]. Основная цель данного обзора заключалась в систематизации современных представлений о главных биогеохимических функциях дождевых червей в естественных и агроэкосистемах.

Дождевые черви и улучшение агрофизических свойств почв

В конце двадцатого столетия появляется ряд публикаций, в которых на основе сопоставления данных из различных направлений биологии, геологии и химии, выдвигается концепция глобальной экологической роли дождевых червей. Райнер Хартенштайн в своей работе обобщил фундаментальные биотехнологические и биогеохимические аспекты изучения введённых в культуру и диких популяций червей. Автор особо выделяет некоторые ключевые особенности экологии и экологической физиологии дождевых червей, такие, как способность заселять почвенные горизонты на глубинах от нескольких сантиметров до нескольких метров, степень миграции и способности к миграции между почвенными горизонтами [12]. В этой же работе обращается внимание на три важных момента: 1) верхние 20–25 см почвенных горизонтов в агроэкосистемах могут потенциально хорошо насыщаться углеродом, однако в реальности поступление органического углерода в почву, как правило, недостаточно для восполнения истощающихся запасов; 2) некоторые дождевые черви могут проникать на глубину более 1–2 метров от поверхности почвы в умеренных и северных широтах (в арктических областях вермифауна бедная, а глубины жизнедеятельности червей – наименьшие), а в тропических областях существуют виды дождевых червей, обитающих на глубинах порядка 10 м от поверхности почвы; 3) эффективно повышающие почвенное плодородие дождевые черви из умеренных или тропических регионов могут быть интродуцированы и размножены практически в любом другом регионе для ускорения ремедиации почв и ускоренной гумификации [12].

Сама по себе миграция дождевых червей в глубинные горизонты облегчает перемещение питательных веществ и доставку их в корнеобитаемые горизонты. Нутриенты могут высвободиться в почвенный раствор либо путем элиминации из кишечника и кожно-мускульного мешка червей, либо путем облегченного стока по системам нор и дренирующих пор, возникших в результате миграции червей.

Роющие способности так называемых *aperic*- и *endogeic*-видов червей [13] позволяют представителям этих экологических групп эффективно дренировать и рыхлить даже чрезвычайно уплотнённые грунты [14]. Количественную оценку влияния дождевых червей на уплотнённую почву можно получить в так называемых колоночных экспериментах. Речь идёт об опытах, в которых для содержания червей используются особые сосуды относительно небольшого диаметра, но большой высоты - порядка одного метра и более. Эти сосуды и называются колоннами (по аналогии с колонками для хроматографии). Они заполняются субстратом, например, грунтом того или иного состава и определённой степени уплотнения. Было показано, что черви вида *Lumbricus terrestris* обладают сравнительно хорошей способностью зарываться в искусственно уплотнённый почво-грунт. Экспериментальные подходы, которые включают в себя комбинацию морфологических и агрофизических измерений, позволяют проанализировать причинно-следственные связи между активностью вермифауны и изменением физико-химических свойств и структуры почв. В частности, была установлена значимая корреляция между роющими способностями и глубиной миграции *Lumbricus terrestris* с одной стороны, и комплексом агрофизических показателей, таких как гидравлическая проводимость, влажность, механическая структура, диффузия растворенных солей в глубину почвенных горизонтов – с другой [14].

В ряде работ показано, что жизнедеятельность дождевых червей обеспечивает довольно значительное улучшение минерального питания растений [15,16]. Это улучшение достигается в результате действия следующих основных факторов:

- участие червей в формировании и трансформации почвенной структуры;
- ускорение процессов гумификации за счёт добавления в почву копролитов;
- существенное влияние жизнедеятельности дождевых червей на биогеохимические циклы (в том числе, соотношение легко- и труднодоступных для растений форм) азота, фосфора, калия, кальция, других макро- и микроэлементов минерального питания растений;
- модификация почвенной микробиоты, и, таким образом, изменение совокупной ферментативной активности, увеличение пула ферментов и других биологически активных веществ в корнеобитаемых горизонтах почвы. Это также может повышать доступность элементов минерального питания растений и ускорять разложение органики [15].

Таким образом, дополнительные элементы минерального питания растений могут поступать в прикорневую зону как в результате физиологических процессов, протекающих в желудочно-кишечном тракте червей (образование копролитов), так и посредством механического перемещения червями частиц вещества от поверхности в глубь почвенных горизонтов. В настоящее время дождевые черви относят к организмам, вносящим большой вклад в процессы гумификации в почвах. Очень важно также и то, что допускаются практические и теоретические возможности эффективного интродуцирования биогеохимически активных видов червей из тропиков и субтропиков в любые другие регионы с целью повышения качества и ускорения процессов гумификации, в том числе с использованием вермикультур [12].

Влияние дождевых червей на биогеохимические циклы кальция и углерода

К перспективным направлениям эколого-биогеохимических исследований можно отнести использование следов жизнедеятельности дождевых червей в качестве стратиграфических маркеров. Согласно данным M.G. Santi [17], в стратиграфической палеонтологии к существенным артефактам, возникшим в результате деятельности червей, можно отнести такие явления, как нахождение в глубинных почвенных горизонтах семян растений, частиц породы с верхних почвенных горизонтов, перемещение отдельных элементов культурных слоёв. В других работах этого же автора [18,19] сделан акцент на исследовании важных в глобальном биогеохимическом аспекте следов жизнедеятельности дождевых червей – продуцируемых ими гранул карбоната кальция. D.C. Lambkin с соавторами [20] указывают, что в составе копролитов большинства видов дождевых червей содержатся гранулы карбоната кальция, размер этих гранул может достигать до двух мм в диаметре, а их наличие фиксируется в почвах четвертичного периода и археологических раскопках разных эпох. Кальцитовые гранулы, откладываемые разными видами дождевых червей, встречаются в почвах повсеместно [21]. Были произведены расчёты, согласно которым жизнедеятельность дождевых червей может приносить до 11 молей CaCO₃ на 1 га лесной почвы в год [22]. Виды *Lumbricus* (*L. terrestris* и *L. rubellus*) характеризуются высокой скоростью продукции гранул карбоната кальция [18]. Масса гранул, продуцируемых разными видами червей, обитающими в почвах одного и того же типа, значительно варьирует. В целом, это варьирование носит внутривидовой, межвидовой и межпопуляционный характер [20]. Несмотря на то, что гранулы карбоната кальция, продуцируемые дождевыми червями, регулярно обнаруживаются в почвенных профилях, до сих пор мало что известно о конкретных механизмах их образования и трансформации в динамике существования в почве. Для выяснения этих и других вопросов были проведены эксперименты на чистых культурах некоторых видов с использованием искусственных почв, при этом откладываемые червями гранулы карбоната кальция для последующего лабораторного изучения извлекались из грунтов и исследовались методами сканирующей электронной микроскопии [18]. Все использованные в опытах виды *Lumbricus*, *Aporrectodea*, *Octolasion* и *Allolobophora* продуцировали карбонатные гранулы размером более 0,125 мм, а особи *Eisenia hortensis* – гранулы значительно меньшего размера. Для сравнения также культивировали два технологических вида компостных червей рода *Eisenia*. Эти виды вообще не дали гранул, что позволило авторам работы предположить, что род *Eisenia*

практически не производит гранул, что согласуется с отсутствием у его представителей развитых кальциевых желёз. В целом карбонатные гранулы, извлеченные из экспериментальных сред обитания 7 видов червей, имеют существенно различающиеся размеры и морфологию, начиная от одиночных кристаллов кальцита до агрегатов, достигающих 2,5 мм в диаметре [18].

Возможную связь между содержанием кальциевых соединений в почве и интенсивностью продукции карбонатных гранул дождевыми червями пытались изучать ещё в начале двадцатого столетия. Данные Робертсона [23] указывают на отсутствие статистически значимой корреляции между количеством продуцируемых гранул особями *L. terrestris* с одной стороны, и содержанием валового и обменного кальция – с другой. В то же время в работе [24] указывается на увеличение скорости продуцирования гранул червями *L. Rubellus* на почвах с повышенным содержанием извести. В исследованиях последних лет высказывается предположение о том, что важнейшим фактором, определяющим скорость образования карбонатных гранул, является величина рН почвенного раствора, а не содержание кальция в почве, как считалось ранее [25]. Из ряда исследованных физико-химических параметров модельных почв (рН, содержание органического вещества, водоудерживающая способность, катионообменная способность, содержание обменных катионов и др.) только рН значимо влиял на гранулы. При этом скорость образования карбонатных гранул, продуцируемых дождевыми червями, возрастала пропорционально увеличению значений рН почвы [25]. В почвах со щелочной реакцией среды динамическое равновесие между процессами растворения и образования гранул карбоната кальция сдвинуто в сторону образования гранул и увеличения их наиболее крупных фракций [20, 24, 26].

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что выделение гранул карбоната кальция обеспечивается функционированием кальциевых желёз дождевых червей [27]. В то же время механизмы этого процесса на данный момент детально еще не изучены. Опубликованы работы, в которых были предприняты попытки феноменологического описания образования карбонатных гранул червями [22, 24, 26, 28]. В связи с механическим разрушением гранул карбоната кальция (а также археологических образцов), извлекаемых из почвенных горизонтов, их состав имеет большое фракционное разнообразие [18, 20, 29]. Это создает существенные методические трудности при морфологическом описании карбонатных образований. Значительная часть карбонатных выделений дождевых червей представляет собой простые одиночные кристаллы кальцита диаметром менее 0,1 мм. Идентифицировать и исследовать их с помощью оптических микроскопов не представляется возможным. Однако, согласно M.G. Canti и T.G. Pearce [18], эти кристаллы можно достаточно эффективно наблюдать и изучать, используя технику сканирующей электронной микроскопии. Одна из современных гипотез связывает размеры карбонатных гранул, продуцируемых дождевыми червями, со степенью развития специфических (для дождевых червей) анатомо-физиологических образований – кальциевых желёз. В свою очередь, морфологические характеристики кальциевых желёз применяются в таксономии этой группы организмов. Исходя из этого, морфологические параметры карбонатных гранул, продуцируемых дождевыми червями, используются некоторыми авторами в совокупности таксономических ключей, необходимых для видового определения [30].

Важно отметить, что относительно многих видов *Eisenia* (и некоторых видов *Dendrobaena*) положение о полном отсутствии кальциевых желёз (которое можно встретить в некоторых источниках) ошибочно. Следует говорить лишь о том, что кальциевые железы у этих видов развиты значительно слабее и имеют отличную (от рода *Lumbricus*, например) анатомическую структуру. В пищеварительном тракте особей *Eisenia* и *Dendrobaena* кальций выделяется в виде одиночных микрокристаллов с диаметром 1–10 мкм. Наиболее вероятной физиологической функцией данного процесса является нейтрализация повышенной кислотности заглатываемых червями пищевых субстратов [18]. Опираясь на данные собственных исследований, мы можем сказать, что черви *Eisenia fetida*, с одной стороны, демонстрируют определённые физиологические требования по отношению к форме и количеству кальция в среде обитания, а с другой – могут

значительно повышать содержание кальциевых соединений в почвах и грунтах в ходе лабораторных экспериментов по переработке опавших листьев древесных растений [31, 32, 33]. При этом вермикомпост, полученный из опавших листьев древесных растений, характеризуется слабощелочным значением рН, высокими величинами отношения содержания водорастворимого кальция к содержанию водорастворимого калия. Это может положительно повлиять на баланс карбонатных гранул в почвах и грунтах, в которые такой вермикомпост будет добавляться. Наряду с биогеохимическими эффектами добавление вермикомпоста на основе древесного листового опада в среды культивирования растений приводит к определённым физиологическим ответным реакциям растений. Эти реакции реализуются повышенной концентрацией ионов кальция в корнеобитаемой зоне. В частности, может наблюдаться интенсификация корнеобразования, что может (в ряде случаев) рассматриваться как адаптивный ответ на целый ряд неблагоприятных изменений параметров среды [33].

Анализируя скорость продукции карбонатных гранул в экспериментах на *L. terrestris*, Lambkin [20] получил среднее значение этого показателя на уровне 8×10^{-3} ммоль CaCO_3 /сутки. В работе Santi [34] представлены значения на порядок больше – около 0,02 ммоль/сутки. Briones с соавторами [35] указывают на то, что оптимальной плотностью популяции на почвах с кислым и нейтральным значением рН для червей *L. terrestris* является 10–20 взрослых особей на квадратный метр. Среднегодовой прирост карбонатных гранул, вычисленный на основании вышеприведённых данных, выражается значением порядка 450 ммоль CaCO_3 /га×год [20]. Согласно Melillo с соавторами [36], годовая продукция углерода в результате фотосинтеза в климатических зонах, охватывающих ареал обитания *L. terrestris*, составляет от 60 000 до 888 333 ммоль С/га×год. В связи с этим образование карбонатных гранул дождевыми червями следует рассматривать как незначительный (порядка одного процента), но вполне реальный вклад в общий биогеохимический цикл углерода.

Данные полевых исследований [19, 37] и математическое моделирование показывают, что при определённых условиях карбонатные гранулы, продуцируемые дождевыми червями, могут существовать в почве очень продолжительное время – до нескольких десятков тысяч лет [38]. Сохранность карбонатных гранул в почве зависит от степени насыщения почвенного раствора кальцитом. Величина этого насыщения, в свою очередь, определяется двумя основными параметрами: рН и ионной силой почвенного раствора [20, 38]. В целом в почвах любого типа с течением времени будет наблюдаться один и тот же процесс: неуклонное закисление и растворение карбонатов [39]. Но гораздо быстрее это будет происходить в агроэкосистемах в условиях нерациональной эксплуатации почв при недостаточном уровне ремедиации, или, тем более, при полном отсутствии таковой.

В ряде работ представлены результаты исследований, направленных на анализ взаимодействия карбонатных гранул, продуцируемых дождевыми червями с макро- и микроэлементами минерального питания растений, а также с другими химическими элементами и соединениями. В частности, приводятся данные о модификации почвенного обмена стронция (как одного из самых близких химических аналогов кальция) [40], а также свинца [41] и цинка [40] под воздействием карбонатных гранул. В целом возможность дождевых червей оказывать влияние на обмен почвенного кальция и других элементов зависит от типа и химического состава перерабатываемых субстратов. Возвращаясь к уже упомянутому в данном обзоре древесному листовому опаду как субстрату переработки дождевыми червями, следует отметить, что немалую роль может играть видовая принадлежность растений, листья которых поедаются червями. Например, наиболее высокий уровень накопления водорастворимого кальция в вермикомпостах фиксировался нами при лабораторной переработке червями *Eisenia fetida* тополиного листового опада, в то время как в вермикомпосте, полученном при переработке ивового опада, преобладал калий [42, 43].

Заключение

Таким образом, проведённый анализ литературных источников показал, что дождевые черви принадлежат к группе основных почво-трансформирующих и почво-формирующих организмов и агентов гумификации почв в глобальном масштабе. Богатая вермифауна в тропиках обеспечивает дренирование и быстрое восстановление почв, в том числе в условиях интенсивной аграрной эксплуатации. Оптимизация минерального питания растений в результате жизнедеятельности дождевых червей обусловлена облегчением миграции макро- и микроэлементов минерального питания от поверхности почвы в более глубокие, в том числе корнеобитаемые, горизонты.

Кальциевые конкреции в виде карбонатных гранул и отдельные кальцитовые кристаллы, возникающие в результате жизнедеятельности дождевых червей, могут рассматриваться в качестве важного компонента биогеохимических циклов, прежде всего циклов углерода и кальция [44, 45]. Произведённые червями карбонатные гранулы и кристаллы кальцита могут составлять до одного процента от запасов почвенного углерода, порядка нескольких процентов от запасов валового кальция и десятки процентов от общего количества обменного кальция в почвах. Таким образом, восполнение почвенного пула углерода (в меньшей степени) и кальция (в большей степени) является важнейшей биогеохимической функцией дождевых червей в масштабах всей биосферы. Эта функция эффективно реализуется в естественных условиях в тропических и субтропических областях, но в северных широтах существенно ослабевает ввиду уменьшения численности и разнообразия почвенной вермифауны. Но в таких регионах можно воспроизводить биогеохимическую деятельность дождевых червей в искусственных, технологических системах. При этом необходимо поддерживать и воспроизводить вермикультуру технологических видов (таких как *Eisenia fetida*).

Завершая обзор, считаем необходимым остановиться на возможной практической значимости проведенных исследований. Деградация почвенного покрова в агроэкосистемах относится к числу наиболее острых глобальных проблем человечества. В подавляющем большинстве стран мира уже не осталось пахотных сельхозугодий, которые бы не эксплуатировались в течение столетий и даже тысячелетий. Почвенная деградация выражается в нескольких важных процессах, среди которых необходимо выделить такие, как истощение пула элементов минерального питания растений, нарушение механической структуры почв и их неуклонное закисление. Последнее связано с различиями в поглощении элементов питания растениями и другими физико-химическими процессами. Традиционные подходы к ремедиации почв включают в себя внесение агрохимикатов и мелиорантов, таких как известь, доломитовая мука, фосфориты, перлит и т.д. Но в последнее время в качестве перспективного направления в агрономии, агрохимии и агроэкологии рассматривается применение биоудобрений разной природы для улучшения свойств почв и повышения резистентности растений к разного рода стрессам и болезням [46–50]. Кроме того, увеличивается доля использования природных субстратов (включая некоторые виды отходов) в качестве агрохимикатов и мелиорантов. Одним из таких субстратов является древесный лиственный опад, который в умеренных широтах сезонно образуется в больших количествах. Опавшие листья деревьев содержат в себе значительное количество макроэлементов минерального питания, среди которых, как правило, преобладает кальций. Однако реутилизация кальция и других элементов из листового опада в умеренных и северных широтах является длительным процессом, поскольку она идет почти исключительно за счет почвенных микроорганизмов. Длительное разложение опада не позволяет эффективно возвращать необходимые элементы в почву и сопровождается гнилостными процессами. Такой проблемы не существует в тропических областях Земли, которые богаты разнообразной вермифауной. Различные виды дождевых червей в совокупности с почвенной микрофлорой

значительно ускоряют процесс разложения опада. В условиях же северных и северо-восточных областей Казахстана и большей части территории России подобные процессы можно осуществить искусственно путем создания технологической базы для промышленной вермипереработки древесного листового опада. Эта задача в современных условиях очень актуальна, но в то же время далека от своей реализации на научно-производственном и производственном уровнях. Вместе с тем современные способы утилизации листового опада, например, в городах Западной Сибири, нельзя считать в должной мере рациональными, экономически и экологически обоснованными. Одни только транспортные расходы на сезонный вывоз опавших листьев на полигоны твердых бытовых отходов исчисляются сотнями миллионами рублей в пересчете на не самую крупную городскую агломерацию. Внедрение технологий вермипереработки опавших листьев, реализуемых непосредственно на местах сбора опада – на территориях садово-парковых комплексов – позволит снизить затраты в сфере озеленения и сопутствующих коммунальных мероприятий. Но самое важное даже не это, а то, что большое количество листового опада может быть превращено в богатое кальцием, азотом, калием биоудобрение. Этот продукт (вермикомпост) может послужить также мелиорантом для восстановления истощенных земель с высокой степенью закисления.

Список литературы

1. Darwin C. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits. – London: John Murray, Albemarle Street, 1881. – 326 p.
2. Johnson D.L. Biomantle evolution and the redistribution of Earth materials and artifacts // Soil Science. – 1990. – Vol. 149. – P. 84-102.
3. Гедройц К.К., Аншальд Г.Д. Химическая роль земляных червей // Журн. опыт. агрон. – 1902. – № 5. – С. 616-617.
4. Соколов А.А. Значение дождевых червей в почвообразовании. – Алма-Ата: АН КазССР, 1956. – 263 с.
5. Чекановская О.В. Дождевые черви и почвообразование. – Москва: АН СССР, 1960. – 207 с.
6. Курчева Г.Ф. Роль животных в почвообразовании. – Москва: Знание, 1973. – 64 с.
7. Курчева Г.Ф. Роль почвенных животных в разложении и гумификации растительных остатков. – Москва: Наука, 1971. – 156 с.
8. Бахтин П.У., Польский М.Н. О роли дождевых червей в структурообразовании дерново-подзолистых почв // Почвоведение. – 1950. – № 8. – С. 487-491.
9. Зражевский А.И. Дождевые черви как фактор плодородия лесных почв. – Киев: изд-во АН УССР, 1957. – 271 с.
10. Зражевский А.И. О значении фауны беспозвоночных в повышении плодородия лесных почв // Тр. Инст. леса АН СССР. – 1954. – № 23. – С. 237-265.
11. Ванагас И.Ю. Влияние дождевых червей на химические свойства почвы // Проблемы почвенной зоологии: сб. ст. – Вильнюс: Моклас, 1975. – 93-94 с.
12. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry // Advances in Ecological Research. – 1986. – Vol. 15. – P. 379-409.
13. Stewart A. The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms // Paperback Algonquin Books. – 2004. – 204 p.

14. Joschko M., Diestel H., Larink O. Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurements // *Biology and Fertility of Soils*. – 1989. – Vol. 8. – Is. 3. – P. 191-196.
15. Битюцкий Н.П., Лукина Е.И., Пацевич В.Г., Соловьева А.Н., Степанова Т.Н., Надпорожская М.А. Влияние червей на трансформацию органических субстратов и почвенное питание растений // *Почвоведение*. – 1998. – № 3. – С. 309-315.
16. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Роль почвенных беспозвоночных животных в разложении растительных остатков и круговороте веществ // *Зоология беспозвоночных. Почвенная зоология*. – 1978. – Т. 5. – С. 8-69.
17. Canti M.G. Earthworm Activity and Archaeological Stratigraphy: A Review of Products and Processes // *Journal of Archaeological Science*. – 2003. – Vol. 30. – P. 135-148.
18. Canti M.G., Pearce T.G. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species: The 7th international symposium on earthworm ecology. – Cardiff, Wales, 2002 // *Pedobiologia*. – 2003. – Vol. 47. – Is. 5-6. – P. 511-521.
19. Canti M.G. Origin of calcium carbonate granules found in buried soils and Quaternary deposits // *Boreas*. – 1998. – Vol. 27. – Is. 4. – P. 275-288.
20. Lambkin D.C., Gwilliam K.H., Layton C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Production and dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate // *Pedobiologia*. – 2011. – Vol. 54. – P. 119-129.
21. Versteegh E.A.A., Black S., Hodson M.E. Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2014. – Vol. 70. – P. 159-161.
22. Wiecek C.S., Messenger A.S. Calcite contributions by earthworms to forest soils in Northern Illinois // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1972. – Vol. 36. – № 3. – P. 478-480.
23. Robertson J.D. The function of the calciferous glands of earthworms // *Journal of Experimental Biology*. – 1935. – Vol. 13. – P. 279-297.
24. Pearce T.G. The calcium relations of selected Lumbricidae // *J. of Anim. Ecol.* – 1972. – Vol. 41. – № 1. – P. 167-188.
25. Lambkin D.C., Gwilliam K.H., Layton C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Production and dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate Soil pH governs production rate of calcium carbonate secreted by the earthworm *Lumbricus terrestris* // *Applied Geochemistry*. – 2011. – Vol. 26. – P. 64-66.
26. Pearce T.G. Acid intolerant and ubiquitous *Lumbricidae* in selected habitats in North Wales // *J. of Anim. Ecol.* – 1972. – Vol. 41. – № 2. – P. 397-410.
27. Gago-Duport L., Briones M.J.I., Rodríguez J.B., Covelo B. Amorphous calcium carbonate biomineralization in the earthworm's calciferous gland: pathways to the formation of crystalline phases // *Journal of Structural Biology*. – 2008. – Vol. 162. – P. 422-435.
28. Leiber J., Maus H. Konkretionen organischen Ursprungs im Löß. Jahresheft Geologisches Landesamt // *Baden-Württemberg*. – 1969. – Vol. 11. – P. 299-308.
29. Armour-Chelu M., Andrews P. Some effects of bioturbation by earthworms (*Oligochaeta*) on archaeological sites // *Journal of Archaeological Science*. – 1994. – Vol. 21. – Is. 4. – P. 433-443.
30. Sims R.W., Gerard B.M. Earthworms. Keys and notes for the identification and study of the species. *Syncaeliques d'Eisenia foetida* Sav. – Brill Archive, 1985. – 171 p.
31. Петроченко К.А., Куровский А.В., Бабенко А.С., Якимов Ю.Е. Вермикомпост на основе листового опада – перспективное кальциевое удобрение // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2015. – № 2 (30). – С. 20-34.
32. Петроченко К.А., Куровский А.В., Бабенко А.С., Якимов Ю.Е. Влияние вермикомпоста на основе тополиного листового опада на корнеобразование у семян пшеницы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2015. – № 3. – С. 98-101.

33. Petrochenko K.A., Kurovskiy A.V., Babenko A.S., Yakimov Y.E. Influence of Slaked Lime Addition on Biotechnological Specification of Vermicultivation // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 1085. – P. 390-393.
34. Canti M.G. Deposition and taphonomy of earthworm granules in relation to their interpretative potential in quaternary stratigraphy // *J. Quatern. Sci.* – 2007. – Vol. 22. – P. 111-118.
35. Briones M.J.I., Ostle N.J., Pearce T.G. Stable isotopes reveal that the calciferous gland of earthworms is a CO₂-fixing organ // *Soil Biol. Biochem.* – 2008. – Vol. 40. – Is. 2. – P. 554-557.
36. Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W., Moore B., Vorosmarty C.J., Schloss A.L. Global climate change and terrestrial net primary production // *Nature*. – 1993. – Vol. 363. – P. 234-240.
37. Elphick B.L. Studies in use of agricultural limestone. II. Solubility of limestone in acid soil as influenced by particle size // *New Zealand J. Sci. Technol.* – 1955. – Vol. 37A. – P. 156-173.
38. Warfvinge P., Sverdrup H. Modelling limestone dissolution in soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1989. – Vol. 53. – № 1. – P. 44-51.
39. Rowell D.L. *Soil Science: Methods and Applications*. – Harlow: Prentice Hall, 1994. – 360 p.
40. Brinza L., Quinna P.D., Schofield P.F., Mosselmans J.F.W., Hodson M.E. Incorporation of strontium in earthworm-secreted calcium carbonate granules produced in strontium-amended and strontium-bearing soil // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2013. – Vol. 113. – P. 21-37.
41. Fraser A., Lambkin D.C., Lee M.R., Schofield P.F., Mosselmans J.F.W., Hodson M.E. Incorporation of lead into calcium carbonate granules secreted by earthworms living in lead contaminated soils / A. Fraser [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2011. – Vol. 75. – № 9. – P. 2544-2556.
42. Kurovsky A.V., Petrochenko K.A., Godymchuk A.Yu., Babenko A.S., Yakimov Yu.E. Physicochemical aspects of recycling tree leaf litter in the south of Western Siberia by the *Eisenia fetida* (Savigny) vermiculture // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 226. – P. 012009.
43. Kornievskaya E., Kurovsky A., Babenko A., Petrochenko K., Sechko O. Microbial structure of nitrogen utilizers in *Populus nigra* L. compost and vermicompost // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Vol. 433. – P. 012001.
44. Lambkin D.C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate // *Applied Geochemistry*. – 2011. – Vol. 26. – P. 67-69.
45. Canti M. G. Experiments on the origin of ¹³C in the calcium carbonate granules produced by the earthworm *Lumbricus terrestris* // *Soil Biology & Biochemistry*. – 2009. – Vol. 41. – № 12. – P. 2588-2592.
46. Терлецкая Н.В., Алтаева Н.А., Ережетова У. Влияние засухи на функционирование фотосинтетического аппарата флагового листа у аллоплазматических линий, полученных в результате межвидовых скрещиваний пшеницы // *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки*. – 2019. – № 4 (129). – С. 58-68.
47. Иқсат Н.Н., Токашева Д., Бейсекова М.К., Аманбаева У.И., Тлеукулова Ж.Б., Акбасова А.Ж., Жангазин С.Б., Омаров Р.Т. Салициловая кислота и ее роль в индуцированной устойчивости растений к биотическому стрессу // *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки*. – 2020. – № 2 (131). – С. 8-14.
48. Мухамеджанова Д.С., Аксенова И.В., Ильясова Б.Б., Омаров Р.Т. Влияние ионообменных сорбентов и золы-уноса на повышение устойчивости растений ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в условиях солевого стресса // *Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки*. – 2020. – № 2 (131). – С. 43-53.
49. Бабак В.А., Жакупов Е.Ж., Пунтус И.А., Мухамеджанов А.К., Ергазы Б., Мертасов А.Г. Конструирование биологического удобрения на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий // *Вестник Евразийского национального университета имени*

Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки. – 2020. – № 1 (130). – С. 14-22.

50. Tokasheva D.S., Iksat N.N., Omarov R.T. Magnesium and manganese biological role in crops diseases // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия: Биологические науки. – 2020. – № 1 (130). – С. 31-36.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

А.В. Куровский, А.С. Бабенко

Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті, Томск, Ресей

Топырақ экокүйелеріндегі жауын құрттарының биогеохимиялық рөлі. Зерттеудің қысқаша тарихы және заманауи түсініктері

Аңдатпа. Биогеохимиялық және агроэкологиялық процестердегі жауын құрттарының рөлін зерттеуге арналған отандық және шетелдік әдебиеттерге талдау жасалынды. Осы топқа жататын ағзалардың топырақ түзуші қасиеттерін зерттеудің ретроспективасы қысқаша қарастырылды. Қазіргі уақытта әр түрлі түрдегі жауын құрттарының тіршілік әрекетінің маңыздылығы биогеохимиялық аспектілеріне кальций карбонаты түйіршіктерін өндіру мүмкіндігі жатады. Бұл процесте кальций бездері жетекші рөл атқарады. Жауын құрттары шығаратын карбонатты түйіршіктер морфологиялық сипаттамалардың вариациясын анықтайды, бұл жалпы түрлік және популяциялық ерекшеліктерге байланысты болып табылады. *Lumbricus* тұқымдасының құрттары айқын көрінетін, үлкен карбонатты түйіршіктер шығарады, ал *Eisenia* түрінің көптеген түрлері кальций қосылыстарын жалғыз кристалдар ретінде бөледі, бірақ түйіршіктер шығара алмайды. Белгілі бір жағдайларда жауын құрттары шығаратын карбонат түйіршіктері топырақта ұзақ уақыт – бірнеше ондаған мың жылға дейін қалуы да мүмкін. Топырақтағы түйіршіктердің өмір сүру ұзақтығы топырақ ерітіндісінің кальцитпен қанығу деңгейіне байланысты болады. Жауын құрттары шығаратын карбонат түйіршіктері топырақтағы көміртегі қорының оннан бір бөлігін құрайды, ал жалпы кальций қорының бірнеше пайызын және топырақтағы жалпы кальций алмасуының ондаған пайызын құрауы мүмкін. Топырақта көміртегі мен кальцийдің қорын толықтыруы жауын құрттарының биосфера масштабындағы биогеохимиялық қызметтің маңыздылығы болып табылады.

Түйін сөздер: жауын құрттары, биогеохимиялық циклдар, көміртегі мен кальцийдің топырақ балансы

A.V. Kurovsky, A.S. Babenko

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Biogeochemical role earthworms in soil ecosystems. A brief history of research and modern concepts

Abstract. There has been analyzed Russian and world scientific literature devoted to the study of the role of earthworms in biogeochemical and agroecological processes in the article. The article briefly considers retrospective studies of the soil-forming properties of this group of organisms. Currently, the most significant biogeochemical aspects of the life activity of earthworms of different species include the ability to produce calcium carbonate granules and single calcite crystals. The leading role in this process is played by the calcium glands of earthworms. The carbonate granules produced by earthworms show

variations in morphological characteristics due to genus, species, and population specificity. Worms of the genus *Lumbricus* produce clearly visible, large carbonate granules, while most species of *Eisenia* produce no granules at all, excreting single crystals of calcite. Carbonate granules produced by earthworms can remain in the soil for a long time, up to several tens of thousands of years. The duration of the existence of carbonate granules in the soil depends on the level of saturation of the soil solution with calcite. Carbonate granules produced by earthworms can account for tenths to one percent of soil carbon reserves, on the order of a few percent of gross calcium reserves, and tens of percent of total exchangeable calcium in soils. Replenishment of the soil carbon and calcium pool is the most important biogeochemical function of earthworms at the biosphere scale.

Keywords: earthworms, biogeochemical cycles, soil carbon balance and calcium.

Список литературы

1. Darwin C. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits (London: John Murray, Albemarle Street, 1881, 326 p.).
2. Johnson D.L. Biomantle evolution and the redistribution of Earth materials and artifacts, *Soil Science*, 149, 84-102 (1990).
3. Gedrojc K.K., Anshal'd G.D. Himicheskaya rol' zemlyanyh chervej, *ZHurn. opyt. agron. [hemical role of earthworms, Zhurn. experience. agro.]*, 5, 616-617 (1902). [in Russian]
4. Sokolov A.A. Znachenie dozhdevykh chervej v pochvoobrazovanii [Importance of earthworms in soil formation] (Alma-Ata: AN KazSSR, 1956, 263 s.). [in Russian]
5. CHekanovskaya O.V. Dozhdevye chervi i pochvoobrazovanie [Earthworms and soil formation] (Moskva: AN SSSR, 1960, 207 s.) [Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1960, 207 p.]. [in Russian]
6. Kurcheva G.F. Rol' zhivotnykh v pochvoobrazovanii [The role of animals in soil formation] (Moskva: Znanie, 1973, 64 s.) [Moscow: Knowledge, 1973, 64 p.]. [in Russian]
7. Kurcheva G.F. Rol' pochvennykh zhivotnykh v razlozhenii i gumifikacii rastitel'nykh ostatkov [The role of soil animals in the decomposition and humification of plant residues] (Moskva: Nauka, 1971, 156 s.) [Moscow: Nauka, 1971, 156 p.]. [in Russian]
8. Bahtin P.U., Pol'skij M.N. O roli dozhdevykh chervej v strukturoobrazovanii dernovo-podzolistykh pochv, *Pochvovedenie* [On the role of earthworms in the structure formation of soddy-podzolic soils, *Eurasian Soil Sci.*], 8, 487-491 (1950). [in Russian]
9. Zrazhevskij A.I. Dozhdevye chervi kak faktor plodorodiya lesnykh pochv [Earthworms as a factor in the fertility of forest soils] (Kiev: izd-vo AN USSR, 1957, 271 s.). [in Russian]
10. Zrazhevskij A.I. O znachenii fauny bespozvonochnykh v povyshenii plodorodiya lesnykh pochv, *Tr. Inst. lesa AN SSSR* [On the importance of the invertebrate fauna in increasing the fertility of forest soils, *Tr. Inst. Forests of the Academy of Sciences of the USSR*], 23, 237-265 (1954). [in Russian]
11. Vanagas I. YU. Vliyanie dozhdevykh chervej na himicheskie svoystva pochvy. *Problemy pochvennoj zoologii: sb. st.* [Influence of earthworms on the chemical properties of soil. *Problems of Soil Zoology: Sat. Art.*] (Vil'nyus: Moklas, 1975, 93-94 s.) [Vilnius: Moklas, 1975, 93-94 p.]. [in Russian]
12. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry, *Advances in Ecological Research*, 15, 379-409 (1986).
13. Stewart A. *The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms*. Paperback Algonquin Books, 2004, 204 p.
14. Joschko M., Diestel H., Larink O. Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurements, *Biology and Fertility of Soils*. 8(3), 191-196 (1989).

15. Bityuckij N.P., Lukina E.I., Pacevich V.G., Solov'eva A.N., Stepanova T.N., Nadporozhskaya M.A. Vliyanie chervej na transformaciyu organicheskikh substratov i pochvennoe pitanie rastenij, Pochvovedenie [Influence of worms on the transformation of organic substrates and soil nutrition of plants, Eurasian Soil Science], 3, 309-315 (1998). [in Russian]
16. Gilyarov M.S., Striganova B.R. Rol' pochvennykh bespozvonochnykh zhivotnykh v razlozhenii rastitel'nykh ostatkov i krugovorote veshchestv, Zoologiya bespozvonochnykh. Pochvennaya zoologiya [The role of soil invertebrates in the decomposition of plant residues and the circulation of substances, Invertebrate Zoology. Soil zoology], 5, 8-69 (1978). [in Russian]
17. Canti M.G. Earthworm Activity and Archaeological Stratigraphy: A Review of Products and Processes, Journal of Archaeological Science, 30, 135-148 (2003).
18. Canti M.G., Pearce T.G. Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species: The 7th international symposium on earthworm ecology. Cardiff, Wales, 2002. Pedobiologia, 47(5-6), 511-521 (2003).
19. Canti M.G. Origin of calcium carbonate granules found in buried soils and Quaternary deposits, Boreas, 27(4), 275-288 (1998).
20. Lambkin D.C., Gwilliam K.H., Layton C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Production and dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate, Pedobiologia, 54, 119-129 (2011).
21. Versteegh E.A.A., Black S., Hodson M.E. Environmental controls on the production of calcium carbonate by earthworms, Soil Biology & Biochemistry, 70, 159-161 (2014).
22. Wiecek C.S., Messenger A.S. Calcite contributions by earthworms to forest soils in Northern Illinois, Soil Sci. Soc. Am. J., 36(3), 478-480 (1972).
23. Robertson J.D. The function of the calciferous glands of earthworms, Journal of Experimental Biology, 13, 279-297 (1935).
24. Pearce T.G. The calcium relations of selected Lumbricidae, J. of Anim. Ecol., 41(1), 167-188 (1972).
25. Lambkin D.C., Gwilliam K.H., Layton C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Production and dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate Soil pH governs production rate of calcium carbonate secreted by the earthworm *Lumbricus terrestris*, Applied Geochemistry, 26, 64-66 (2011).
26. Pearce T.G. Acid intolerant and ubiquitous *Lumbricidae* in selected habitats in North Wales, J. of Anim. Ecol., 41(2), 397-410 (1972).
27. Gago-Duport L., Briones M.J.I., Rodríguez J.B., Covelo B. Amorphous calcium carbonate biomineralization in the earthworm's calciferous gland: pathways to the formation of crystalline phases, Journal of Structural Biology, 162, 422-435 (2008).
28. Leiber J., Maus H. Konkretionen organischen Ursprungs im Löß. Jahresheft Geologisches Landesamt, Baden-Württemberg, 11, 299-308 (1969).
29. Armour-Chelu M., Andrews P. Some effects of bioturbation by earthworms (*Oligochaeta*) on archaeological sites, Journal of Archaeological Science, 21(4), 433-443 (1994).
30. Sims R.W., Gerard B.M. Earthworms. Keys and notes for the identification and study of the species. *Syncalciques d'Eisenia foetida* Sav. (Brill Archive, 1985, 171 p.).
31. Petrochenko K.A., Kurovskij A.V., Babenko A.S., YAKimov YU.E. Vermikompost na osnove listovogo opada – perspektivnoe kal'cievoe udobrenie, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya [Vermicompost based on leaf litter - a promising calcium fertilizer, Bulletin of the Tomsk State University. Biology], 2 (30), 20-34 (2015). [in Russian]
32. Petrochenko K.A., Kurovskij A.V., Babenko A.S., YAKimov YU.E. Vliyanie vermikomposta na osnove topolinogo listovogo opada na korneobrazovanie u semyan pshenicy, Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki [Influence of vermicompost based on poplar leaf litter on root formation in wheat seeds, Siberian Bulletin of Agricultural Science], 3, 98-101 (2015). [in Russian]

33. Petrochenko K.A., Kurovskiy A.V., Babenko A.S., Yakimov Y.E. Influence of Slaked Lime Addition on Biotechnological Specification of Vermicultivation, *Advanced Materials Research*, 1085, 390-393 (2015).
34. Canti M.G. Deposition and taphonomy of earthworm granules in relation to their interpretative potential in quaternary stratigraphy, *J. Quatern. Sci.*, 22, 111-118 (2007).
35. Briones M.J.I., Ostle N.J., Pearce T.G. Stable isotopes reveal that the calciferous gland of earthworms is a CO₂-fixing organ, *Soil Biol. Biochem.*, 40(2), 554-557 (2008).
36. Melillo J.M., McGuire A.D., Kicklighter D.W., Moore B., Vorosmarty C.J., Schloss A.L. Global climate change and terrestrial net primary production, *Nature*, 363, 234-240 (1993).
37. Elphick B.L. Studies in use of agricultural limestone. II. Solubility of limestone in acid soil as influenced by particle size, *New Zealand J. Sci. Technol.*, 37A, 156-173 (1955).
38. Warfvinge P., Sverdrup H. Modelling limestone dissolution in soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53(1), 44-51 (1989).
39. Rowell D.L. *Soil Science: Methods and Applications* (Harlow: Prentice Hall, 1994, 360 p.).
40. Brinza L., Quinna P.D., Schofield P.F., Mosselmans J.F.W., Hodson M.E. Incorporation of strontium in earthworm-secreted calcium carbonate granules produced in strontium-amended and strontium-bearing soil, *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 113, 21-37 (2013).
41. Fraser A., Lambkin D.C., Lee M.R., Schofield P.F., Mosselmans J.F.W., Hodson M.E. Incorporation of lead into calcium carbonate granules secreted by earthworms living in lead contaminated soils, *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 75(9), 2544-2556 (2011).
42. Kurovsky A.V., Petrochenko K.A., Godymchuk A.Yu., Babenko A.S., Yakimov Yu.E. Physicochemical aspects of recycling tree leaf litter in the south of Western Siberia by the *Eisenia fetida* (Savigny) vermiculture, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 226, 012009 (2019).
43. Kornievskaya E., Kurovsky A., Babenko A., Petrochenko K., Sechko O. Microbial structure of nitrogen utilizers in *Populus nigra* L. compost and vermicompost, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 433, 012001 (2020).
44. Lambkin D.C., Canti M.G., Pearce T.G., Hodson M.E. Dissolution rates of earthworm-secreted calcium carbonate, *Applied Geochemistry*, 26, 67-69. (2011).
45. Canti M. G. Experiments on the origin of ¹³C in the calcium carbonate granules produced by the earthworm *Lumbricus terrestris*, *Soil Biology & Biochemistry*, 41(12), 2588-2592 (2009).
46. Terleckaya N.V., Altaeva N.A., Erezhetova U. Vliyanie zasuhi na funkcionirovanie fotosinteticheskogo apparata flagovogo lista u alloplazmaticheskikh linij, poluchennyh v rezul'tate mezhhvidovyh skreshchivanij pshenicy, *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya: Biologicheskie nauki* [Effect of drought on the functioning of the photosynthetic apparatus of the flag leaf in alloplasmic lines obtained as a result of interspecific crosses of wheat, *Bulletin of the L.N. Gumilyov. Series: Biological Sciences*], 4(129), 58-68 (2019). [in Russian]
47. Iksat N.N., Tokasheva D., Bejsekova M.K., Amanbaeva U.I., Tleukulova ZH.B., Akbasova A.ZH., ZHangazin S.B., Omarov R.T. Salicilovaya kislota i ee rol' v inducirovannoj ustojchivosti rastenij k bioticheskomu stressu, *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya: Biologicheskie nauki* [Salicylic acid and its role in induced plant resistance to biotic stress, *Bulletin of L.N. Gumilyov. Series: Biological Sciences*], 2(131), 8-14 (2020). [in Russian]
48. Muhamedzhanova D.S., Aksenova I.V., Il'iasova B.B., Omarov R.T. Vliyanie ionoobmennyyh sorbentov i zoly-unosa na povyshenie ustojchivostirastenij yachmenya (*Hordeum vulgare* L.) v usloviyah solevogo stressa, *Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya: Biologicheskie nauki* [Effect of ion-exchange sorbents and fly ash on increasing the resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) plants under salt stress, *Bulletin of L.N. Gumilyov. Series: Biological Sciences*], 2(131), 43-53 (2020). [in Russian]

49. Babak V.A., ZHakupov E.ZH., Puntus I.A., Muhamedzhanov A.K., Ergazy B., Mertasov A.G. Konstruirovaniye biologicheskogo udobreniya na osnove azotfiksiruyushchih i fosfatmobilizuyushchih bakterij, Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. Seriya: Biologicheskie nauki [Designing a biological fertilizer based on nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing bacteria, Bulletin of the L.N. Gumilyov. Series: Biological Sciences], 1(130), 14-22 (2020). [in Russian]

50. Tokasheva D.S., Iksat N.N., Omarov R.T. Magnesium and manganese biological role in crops diseases, Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series, 1(130), 31-36 (2020).

Сведения об авторах:

Куровский А.В. – кандидат биологических наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии Томского государственного университета, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Бабенко А.С. – доктор биологических наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственной биологии Томского государственного университета, пр. Ленина, 36, Томск, Россия.

Kurovsky A.V. – Candidate of Biology, Associate Professor of Department of Agricultural Biology of Tomsk State University, 36 Lenin ave., Tomsk, Russia.

Babenko A.S. – Doctor of Biology, Head of Department of Agricultural Biology of Tomsk State University, 36 Lenin ave., Tomsk, Russia.