

УДК 51:57

Для цитирования: Арипшева Б.М., Корнеева Н.А. Элементы математики в школьном курсе биологии // Научно-методический журнал «Поиск научных решений». 2024. № 4. С. 119–131.

DOI: 10.61077/2949-4818-2024-4-119-131

Элементы математики в школьном курсе биологии

Арипшева Бэлла Мухамедовна

Государственное бюджетное учреждение
дополнительного профессионального образования «Центр непрерывного
повышения профессионального мастерства педагогических работников»
Министерства просвещения и науки Кабардино-Балкарской Республики

Корнеева Надежда Александровна

МКОУ «СОШ ст. Приближная»
Прохладненского муниципального района
Кабардино-Балкарской Республики

Аннотация. Статья посвящена роли математики в школьном курсе биологии. Рассматривается сущность математического подхода к изучению объектов и явлений окружающего мира. Приведены примеры использования и закрепления математических понятий, умений, навыков при изучении отдельных тем курса школьной биологии.

В работе рассматриваются примеры использования математических методов в современной биологии, освещены вопросы целесообразности использования интегрированного обучения в образовательном процессе. В статье обосновывается на необходимость владения математическими знаниями обучающимися не только для общего развития, но и для успешного прохождения ГИА по биологии.

Ключевые слова: биология, математика, интеграция, биоматематика, математические модели, математическая биология.

Elements of mathematics in a school Biology course**Aripsheva Bella Mukhamedovna**

State Budgetary Institution of Additional Professional Education
"Center for Continuous Development of Professional Mastery of Teaching Staff"
of the Ministry of Enlightenment and Science of the Kabardino-Balkarian Republic

Korneeva Nadezhda Aleksandrovna

Municipal public educational institution
"Secondary general education school of stanitsa Priblizhnaya"
of the Prokhladnenskii municipal district of the Kabardino-Balkarian Republic

Abstract. The article is devoted to the role of Mathematics in the school Biology course. The point of the mathematical approach for studying objects and phenomena of the surrounding world is considered. Examples of how to use and consolidate mathematical concepts, skills, and abilities in the study of certain topics of the school Biology course are given.

The paper examines examples of using mathematical methods in modern biology, highlights the issues of the expediency of using integrated learning in the educational process. The article substantiates the need for students to possess mathematical knowledge not only for general development, but also for successful completion of the State summative assessment in Biology.

Keywords: Biology, Mathematics, integration, biomathematics, mathematical models, mathematical biology.

Математика — неотъемлемая основа человеческой жизни, определяющая траектории развития в различных сферах нашего бытия. В настоящее время нет такой области деятельности людей, где математика не играла бы существенной роли. Без её знания повседневные задачи были бы непреодолимыми препятствиями, что ставит перед нами задачу обучить подрастающее поколение глубокому пониманию и осознанному применению математических принципов.

С одной стороны, математика восхваляется как «королева наук». Многие классики науки независимо высказывали одну и ту же мысль: «Область знания становится наукой, когда она выражает свои законы в виде математических соотношений» [Гончарова, Стус 2016]. А с другой стороны, математика для многих остаётся непроходимой тайной. Любовь к ней или отторжение — это лишь две грани восприятия, но неизменным остается её фундаментальный статус в жизни общества.

Биология долго была описательной наукой, но с течением времени начали обнаруживаться глубокие связи между различными явлениями, такими как обмен веществ, наследственность, морфогенез и эволюция. Это привело к стремлению выявить общие принципы функционирования биологических систем и понять сущность жизни, что стало предпосылками для создания теоретической биологии. Проникновение математики в биологию было обусловлено развитием новых дисциплин на стыке наук, таких как биофизика, биохимия и молекулярная биология, где математика применяется успешно.

Биологи ищут в технических дисциплинах идеи и методы для изучения биологических процессов управления, а инженеры стремятся найти новые принципы для использования в технике [Павлова, Петрушина 2010]. Математические методы начали применяться в биологии очень давно. Вначале их использование было тесно связано с обработкой результатов наблюдений, ведь необходимо было подсчитать объекты исследований, их размеры, время протекания процессов и многое другое. Необходима была математика для каталогизации, классификации, ведения статистики. Но этим применение математики в биологии не ограничилось. Наука должна не только описывать процессы, но и объяснять, почему они происходят, а также делать прогнозы. Биологию часто критиковали за то, что она не объясняет причины явлений, а биологические процессы слабо поддаются предсказаниям. Именно эта задача была поставлена перед математической биологией [Зачем нужна математика в биологии... 2020].

Применение математических методов позволяет, с одной стороны, выявить наличие закономерной связи между объектами или явлениями, подтвердить достоверность полученных результатов, а с другой – смоделировать явление или процесс.

На данный момент междисциплинарное направление двух наук – математическая биология – приобретает все большую значимость. Математическая биология является междисциплинарным научным направлением, объекты исследования которого – различные биологические системы, а предмет исследования – решение определенных математических задач, связанных с целью исследования. Дисциплину преподают в высших учебных заведениях, а специалисты в этой области становятся все более востребованными.

Современные математика и биология определенно свидетельствуют, что сложное похоже на случайное. В самом деле, живое на любом уровне

организации жизни (клеточном, организационном, популяционном, биогеоценотическом) представлено даже не сложными, а сверхсложными системами, охарактеризовать которые невозможно без математических приемов, формул и методов. Математика занимает важное место в биологии, поскольку значительные открытия были сделаны благодаря точным наукам. К этому выводу можно прийти, изучая работы известных ученых. Биология пересекается с различными естественными науками, но именно математика дала возможность ученым установить точность и научно обосновать множество закономерностей [Chasnov 2016, 60].

Первые попытки математически описать биологические процессы относятся к моделям популяционной динамики. Эта область математической биологии и в дальнейшем служила математическим полигоном, на котором «отрабатывались» математические модели в разных областях биологии: модели эволюции, микробиологии, иммунологии и других областей, связанных с клеточными популяциями. Самая первая известная модель, сформулированная в биологической постановке – знаменитый ряд Фибоначчи, который приводит в своем труде Леонардо из Пизы в XIII веке. Это ряд чисел, описывающий количество пар кроликов, которые рождаются каждый месяц, если кролики начинают размножаться со второго месяца и каждый месяц дают потомство в виде пары кроликов. Ряд представляет последовательность чисел (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ...), каждое из которых равно сумме двух предыдущих.

Следующая известная истории модель – формула Мальтуса (1798), описывающая размножение популяции со скоростью, пропорциональной ее численности. В дискретном виде закон Мальтуса представляет собой геометрическую прогрессию [Скоринкин 2015, 10].

В настоящее время объектами моделирования являются биологические процессы разного уровня организации. Поскольку процессы всегда разворачиваются во времени, методами моделирования являются методы теории динамических систем. Средства – дифференциальные уравнения с производными по времени (динамические модели), их качественный анализ и/или компьютерная симуляция.

Обычные цели моделирования биологических процессов:

- выяснение механизмов взаимодействия элементов системы (включая ненаблюдаемые экспериментально элементы);
- идентификация и верификация параметров модели по экспериментальным данным;

- оценка устойчивости модели (само понятие устойчивости требует формализации);
- прогноз поведения модели, в т.ч. при различных внешних воздействиях [Скоринкин 2015, 23].

Актуальность данного исследования заключается в том, в настоящее время роль математических и математико-статистических методов, применяемых в биологии, возрастает, интенсивно развивается математическое моделирование процессов. Появилась потребность в теоретическом осмыслении жизни через математические принципы функционирования биологических систем. Благодаря математике и информатике, современные биологи и медики могут решать проблемы, которые раньше считались неразрешимыми. Возникают новые профессии, связанные с применением математики в биологии – биоматематик, биоинженер и т. д. Эти профессии находятся на стыке наук, они новые и наукоемкие, требующие творческого подхода, а значит, именно такие, за которыми будущее.

Но в рамках школьной программы связь между математикой и биологией освящается недостаточно обширно. Математические умения необходимы при сдаче ЕГЭ по биологии не только при решении задач высокого уровня сложности (нового формата), но даже для выполнения заданий базового уровня.

В связи с этим, развитие концепции и методических разработок по вопросу интеграции математики и биологии для общеобразовательных учреждений является важным. Интеграция как средство обучения даёт ученику те знания, которые отражают связанность отдельных частей мира, учит ребёнка с первых шагов воспринимать мир как единое целое. Рост познавательного интереса учащихся к любому предмету усиливается под влиянием межпредметных связей. Межпредметные связи стимулируют тягу к знаниям, укрепляют интерес к предмету, расширяют заинтересованность, углубляют знания, способствуют становлению интересов профессионального плана.

В практике общеобразовательной школы интеграция знаний из различных предметов может осуществляться с помощью бинарных уроков, которые, по мнению отечественных методистов (например, И.М. Фролова), являются основой образования будущего. Изолированное преподавание отдельных учебных предметов недостаточно, ведь окружающий нас мир един и взаимосвязан своеобразными бесчисленными внутренними связями

так, что нельзя затронуть ни одного важного аспекта, не коснувшись при этом множество других. Практическая значимость интегрированных уроков велика как для учащихся (изучение одного материала часто взаимосвязано с наличием определенных знаний и умений по-другому.), так и для учителя (применение технологии системного обучения, необходимого для формирования у учащихся целостного восприятия мира) [Недоруб, Ермакова 2016].

Для активизации познавательной деятельности учащихся в процессе обучения в школе важно использование математических текстовых задач с биологическим содержанием. Математические текстовые задачи способствуют развитию мыслительных, аналитических способностей учащихся. Использование такого рода задач позволяет формировать у учащихся осознанное восприятие основных понятий биологии. В учебниках по биологии содержится много информации и интересных фактов, в форме практических примеров и занимательных заданий, которые можно связать с математикой. Существуют различные способы интеграции математики и биологии в школе: необычные практико-ориентированные задания на обобщающих уроках, предметных неделях, олимпиадные задания.

Интеграция математических понятий, умений, навыков в курс биологии средней школы возможно через практические и лабораторные работы.

Например:

1. «Изучение внешнего строения стебля растений» – интеграция математических понятий: сечения, виды многоугольников.
2. «Определение возраста дерева по спилу стебля дерева» – интеграция математических понятий: сечение, круг, овал, пропорциональность.
3. «Выявление плоскостопии» – интеграция математических понятий: длина отрезка, середина отрезка. Понятие перпендикуляра. Проведение перпендикулярных прямых с помощью циркуля и линейки.
4. «Построение вариационного ряда и кривой» – интеграция математических понятий: понятие функции, понятие графика функции. Чтение данных графиков.

Математические минутки по решению задач с биологическим содержанием в начале или в конце урока – один из способов интегрированного обучения, которые повышают мотивацию к обучению и способствуют формированию функциональной (математической и естественнонаучной) грамотности.

Например:

1. Чему равно отношение азота к кислороду в составе воздуха?
2. Сколько литров кислорода содержится в 100 л воздуха?
3. При фотосинтезе из 6 молекул углекислого газа и 6 молекул воды образуется 1 молекула глюкозы и 6 молекул кислорода. А) Сколько молекул углекислого газа и воды нужно для образования 4 молекул глюкозы? Б) Сколько молекул кислорода образуется при фотосинтезе, если образовалось 3 молекулы глюкозы?

Выполнение новых типов заданий, включенных в КИМ ЕГЭ с статистическими таблицами, графиками, диаграммами, требуют не только читательской, но и математической грамотности. Расчетно-вычислительные умения необходимы для успешного выполнения заданий линий 4, 27, 28 КИМ ЕГЭ по биологии.

Применение математических понятий, таких, как «Вероятность и статистика», «Геометрическая прогрессия» в генетике дает возможность оценить количественные характеристики наследования тех или иных признаков в ряду поколений. Г. Мендель, являясь математиком, известен как основоположник учения о наследственности. Благодаря ему, в этой области были созданы первые основы генетики, известные как законы Менделя.

Результатом применения математики в биологии являются биологические законы, описанные математическими методами. Отличие математической биологии от прочих математических наук заключается в том, что ее результаты интерпретируются с точки зрения биологии. Математические методы представляют собой комплекс расчетных и вычислительных приемов, которые используются для исследований разнообразных биологических феноменов [Зверев, Зефилов 2013]. Математические методы легли в основу открытия структуры молекулы ДНК Дж. Уотсоном и Ф. Криком.

Использование правила Чаргаффа необходимо для решения расчетных биологических задач по молекулярной цитологии – на определение процентного содержания нуклеотидов в ДНК. Математические умения требуются от учащихся при решении расчётных задач на определение количества аминокислот в белке, а также количества нуклеотидов и триплетов в ДНК или РНК, на определение количества хромосом и ДНК на разных стадиях митоза и мейоза.

Нет ни одного раздела в биологии, где бы ни применялась математика. Генетика требует знаний теории вероятности, а биохимия – математических методов оптимизации процессов.

В систематике широкое распространение получила математическая диагностика. Большинство организмов не составляет труда отличить друг от друга, поскольку им присущи оригинальные морфологические черты. Однако зачастую разницу определить практически нереально – все это указывает на необходимость использования математических методов изучения определенного явления [Специфика математической биологии... 2023].

Математика играет особую роль в процессе генетических исследований. Раздел генетики, который изучает преемственность наследственных свойств в популяции, называется генетикой популяций. Исследование генетики популяций с применением математики является одним из ведущих и важнейших направлений современной теоретической биологии. Основоположниками генетико-математических методов исследований были Годфри Харольд Дженингс, Севиль Райт и Рональд Фишер.

Генетические законы носят универсальный характер. Они приемлемы как для растений, так и для животных и человека. Изучение этих генетических закономерностей делает возможность для управления индивидуальным развитием организмов, создания высокопродуктивных пород животных и сорта растений, борьбы с наследственными болезнями, производить пересадку органов и трансплантацию тканей и т.д. [Корчинская, Емельянова 2023].

Популяционная генетика – раздел генетики, изучающий генофонд популяций и его пространственно-временную изменчивость. Она представляет собой математическое моделирование процессов эволюции и сохранения полиморфизма в популяциях. Этот раздел генетики наиболее ярко иллюстрирует идеи теории эволюции Чарльза Дарвина и учения Грегора Менделя [Тейлор, Грин, Стаут 2021].

В заданиях КИМ 27-й линии ЕГЭ по биологии с 2024 года появились задачи по генетике популяции с применением закона Харди – Вайнберга.

Для выполнения этих заданий необходимы такие математические умения, как решение уравнения квадрата суммы (например, для подсчета частоты встречаемости доминантных и рецессивных генотипов), извлечение квадратного корня (для нахождения доли рецессивного гена) и т.д. Важно

помнить, что решение этих задач не сводится лишь к простому приведению расчетов, необходимо объяснить каждое действие.

В школьной программе математики находят отражение многие биологические концепции: «золотое сечение» и гармония форм живой природы, геометрическая прогрессия как модель размножения организмов. Эти связи не только обогащают понимание науки, но и способствуют осознанному восприятию биологических закономерностей.

Анализ биологических явлений и корреляционный анализ используется в систематике, генетике, зоологии и прочих отраслях биологической науки. Корреляционный анализ позволяет оценить направление взаимосвязи между двумя признаками (прямое или обратное), а также выразить её количественно при помощи коэффициента корреляции. Для этого используются методы математической статистики, в том числе вычисление средних величин, оценка различий между выборками и корреляции между двумя и более признаками. Первые опыты использования математических знаний для анализа биологических явлений принадлежат Френсису Гальтону (1889), который использовал статистический анализ для оценки связи между отдельными признаками у людей и степени сходства между родственниками по такому сложному признаку, как рост людей. Ф. Гальтон впервые ввел понятие биометрика в научную литературу. С 60-х годов XX века математическая статистика стала обязательным условием анализа экспериментальных данных в области биологии, медицины и сельского хозяйства.

В связи с переходом школ на Федеральные государственные образовательные стандарты исследовательская деятельность на уровне среднего общего образования рассматривается, как ведущий и универсальный вид деятельности, и имеет ряд особенностей: исследования должны быть поли- и междисциплинарны, иметь яркий научный характер, вписываться в профильное обучение, помогать при профессиональном самоопределении обучающихся. При интерпретации полученных результатов рекомендуется использовать методы математической статистики и компьютерного моделирования [Пархоменко 2023].

Одним из способов интеграции математики и биологии является внеурочная исследовательская деятельность. Так, на базе школы МКОУ «СОШ ст. Приближной» в центре «Точка Роста» естественно-научного цикла во внеурочное время проводятся исследования различного характера, в которых очень четко просматривается интеграция предметов.

Например, исследование объема легких у курильщика и здорового человека. На практическом этапе проводится измерение объема лёгких с помощью воздушного шара. Для получения большей точности измерений желательно использовать такой воздушный шар, который будучи надутым, имеет форму, близкую к сфере.

В девятом классе все учащиеся по очереди будут проходить первую часть эксперимента – надувание воздушного шарика. Каждый участник, находясь в стоячем положении и после короткого периода спокойного дыхания, вдыхает максимально глубоко, а затем производит глубокий выдох в воздушный шар, насколько это возможно. Данные вносятся в таблицу. Процедура повторяется еще два раза (перед началом каждой пробы воздушный шар необходимо полностью сдувать) с паузами по 15 секунд, и находится среднее значение. Затем, по формуле нахождения объема шара ($V_{\text{шара}} = 1/6 \cdot \pi \cdot d^3$), находим действительную жизненную емкость легких для каждого испытуемого.

Поскольку на ЕГЭ по биологии не используется реальное лабораторное оборудование, то овладение методологическими умениями проверяется при помощи модельных экспериментальных заданий (линий 22-23 КИМ). Они относятся к заданиям высокого уровня сложности и направлены как на анализ процедуры самого эксперимента, так на формулирование выводов и объяснений по его результату [Рохлов, Петросова, Мазяркина, Саленко 2024].

Для выполнения таких заданий необходимы составляющие математической грамотности: умение находить и отбирать информацию; производить арифметические действия и применять их для решения конкретной задачи; интерпретировать, оценивать и анализировать данные.

Учебные материалы по биологии и математике для средней школы позволяют рассматривать объекты и явления живой природы в комплексе. Интегрированное обучение способствует:

- изучению данных предметов на углубленном уровне;
- развитию системного мышления учащихся;
- развитию творческих, познавательных и интеллектуальных навыков учеников;
- повышению уровня образованности обучающихся;
- правильному выбору профессии;
- качественной подготовке к государственной итоговой аттестации выпускников.

Учитывая вышесказанное, рекомендуется использовать учителям различные способы интеграции математики и биологии в школе:

- в урочное время – через практические и лабораторные работы, проведение математических разминок на уроках по текущим темам;
- использование необычных практико-ориентированных заданий на обобщающих уроках, предметных неделях, при подготовке к ГИА;
- во внеурочное время – проведение проектно-исследовательской деятельности, олимпиад.

Список литературы

1. Гончарова О.Н., Стус Е.А. Связь теории с практикой в преподавании математики. – URL : <file:///C:/Users/%D0%9F%D0%9A/Downloads/svyaz-teorii-s-praktikoy-v-prepodavanii-matematiki.pdf> (Дата обращения: 05.12.2024).
2. Зачем нужна математика в биологии и какие профессии появились на стыке этих наук. – URL : <https://studyinfocus.ru/zachem-nuzhna-matematika-v-biologii-i-kakie-professii-poyavilis-na-styke-etih-nauk/?ysclid=m4pri3l1gj548989556> (Дата обращения: 06.12.2024).
3. Зверев А.А., Зефиоров Т.Л. Статистические методы в биологии: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский федеральный университет, 2013. 42 с.
4. Корчинская О.В., Емельянова В.Г. Математические методы в решении задач по популяционной генетике // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях. X Международная научно-практическая конференция, посвященная 105-летию кафедры сельскохозяйственных машин и механизации животноводства (Агроинженерии) ФГБОУ ВО «Омский ГАУ». Омск, 2023. С. 427–430.
5. Недоруб Е.Ю., Ермакова Н.Л. Современный взгляд на формирование устойчивого научного знания учащихся // Успехи современной науки. 2016. №11 (9). С. 111–113.
6. Павлова С.А., Петрушина Н.Н. Математики интересуются биологией, а биологи изучают математику!!!. – URL : <file:///C:/Users/%D0%9F%D0%9A/Downloads/matematiki-interesuyutsya-biologiyey-a-biologi-izuchayut-matematiku.pdf> (Дата обращения: 05.12.2024).
7. Пархоменко Н.С. Методическое пособие «Использование методов математической статистики при выполнении биологических исследований». – URL: <https://infourok.ru/metodicheskoe-posobie-ispolzovanie-metodov-matematicheskoy-statistiki-pri-vypolnenii-biologicheskij-issledovaniy-6964895.html> (Дата обращения: 07.12.2024).
8. Рохлов В.С., Петросова Р.А., Мазяркина Т.В., Саленко В.Б. Методические материалы для председателей и членов предметных комиссий

субъектов Российской Федерации по проверке выполнения заданий с развёрнутым ответом экзаменационных работ ЕГЭ 2024 года. БИОЛОГИЯ. – URL : https://doc.fipi.ru/ege/dlya-predmetnyh-komissiy-subektov-rf/2024/biologiya_mr_ege_2024.pdf (Дата обращения: 07.12.2024).

9. Скоринкин А.И. Математическое моделирование биологических процессов. Казань. Казанский университет. 2015. 86 с.

10. Специфика математической биологии и описание основных математических методов. – URL : <https://zaochnik-com.com/spravochnik/biologija/obschaja-biologija/matematicheskie-metody-v-biologii/?ysclid=m4tl85wvag695724351> (Дата обращения: 07.12.2024).

11. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология: в 3 ч. Ч. 3. Москва, БИНОМ, Лаборатория знаний, 2021. 456 с.

12. Chasnov J.R. Mathematical Biology .University of Science and Technology. Hong Kong, 2016. – URL : <https://www.math.hkust.edu.hk/> (Дата обращения: 06.12.2024).

References

1. Goncharova O.N., Stus E.A. Svyaz' teorii s praktikoi v prepodavanii matematiki [The relation between theory and practice in teaching mathematics], available at: <file:///C:/Users/%D0%9F%D0%9A/Downloads/svyaz-teorii-s-praktikoy-v-prepodavanii-matematiki.pdf> (accessed 5 December 2024), *in Russian*.

2. Zachem nuzhna matematika v biologii i kakie professii poyavilis' na styke ehtikh nauk [Why do we need mathematics in biology and what professions appeared at the junction of these sciences?], available at: <https://studyinfocus.ru/zachem-nuzhna-matematika-v-biologii-i-kakie-professii-poyavilis-na-styke-etih-nauk/?ysclid=m4pri3l1gj548989556> (accessed 6 December 2024), *in Russian*.

3. Zverev A.A., Zefirov T.L. Statisticheskie metody v biologii: uchebno-metodicheskoe posobie [Statistical methods in Biology: an educational and methodical manual], Kazan, Kazan federal university, 2013, 42 p., *in Russian*.

4. Korchinskaya O.V., Emel'yanova V.G. Matematicheskie metody v reshenii zadach po populyatsionnoi genetike [Mathematical methods in solving problems in population genetics]. Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse, kak faktor razvitiya nauki v sovremennykh usloviyakh [Innovative technologies in the agro-industrial complex as a factor in the development of science in modern conditions]. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 105th anniversary of the Department of Agricultural Machinery and Mechanization of Livestock Farming (Agroengineering) of the Omsk State Agrarian University, Omsk, 2023, pp. 427–430, *in Russian*.

5. Nedorub E.Yu., Ermakova N.L. Sovremennyi vzglyad na formirovanie ustoichivogo nauchnogo znaniya uchaschikhsya [A modern view on

the formation of sustainable scientific knowledge of students], *Uspekhi Sovremennoi Nauki [The Successes of Modern Science]*, 2016, no. 11 (9), pp. 111–113.

6. Pavlova S.A., Petrushina N.N. Matematiki interesuyutsya biologiei, a biologi izuchayut matematiku!!! [Mathematicians are interested in biology, and biologists study mathematics!!!], available at: <file:///C:/Users/%D0%9F%D0%9A/Downloads/matematiki-interesuyutsya-biologiyey-a-biologi-izuchayut-matematiku.pdf> (accessed 5 December 2024), *in Russian*.

7. Parkhomenko N.S. Metodicheskoe posobie "Ispol'zovanie metodov matematicheskoi statistiki pri vypolnenii biologicheskii issledovanii" ["The use of mathematical statistics methods in biological research"], available at: <https://infourok.ru/metodicheskoe-posobie-ispolzovanie-metodov-matematicheskoy-statistiki-pri-vypolnenii-biologicheskij-issledovaniy-6964895.html> (accessed 7 December 2024), *in Russian*.

8. Rokhlov V.S., Petrosova R.A., Mazyarkina T.V., Salenko V.B. Metodicheskie materialy dlya predsedatelei i chlenov predmetnykh komissii sub"ektov Rossiiskoi Federatsii po proverke vypolneniya zadaniy s razvernutyim otvetom ehkzamenatsionnykh rabot EGE 2024 goda. Biologiya [Methodological materials for heads and members of subject commissions of the subjects of the Russian Federation on checking the assignments with a detailed answer of the examination papers of the Unified State Examination in 2024. Biology], available at: https://doc.fipi.ru/ege/dlya-predmetnyh-komissiy-subektov-rf/2024/biologiya_mr_ege_2024.pdf (accessed 7 December 2024), *in Russian*.

9. Skorinkin A.I. Matematicheskoe modelirovanie biologicheskikh protsessov [Mathematical modeling of biological processes], Kazan, Kazan University, 2015, 86 p., *in Russian*.

10. Spetsifika matematicheskoi biologii i opisanie osnovnykh matematicheskikh metodov [The specifics of mathematical biology and the description of basic mathematical methods], available at: <https://zaochnik.com.com/spravochnik/biologija/obschaja-biologija/matematicheskie-metody-v-biologii/?ysclid=m4tl85wvag695724351> (accessed 7 December 2024), *in Russian*.

11. Tailor J., Green N., Staut W. Biologiya [Biology], part 3, Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., , 2021, 456 p., *in Russian*.

12. Chasnov J.R. Mathematical Biology. University of Science and Technology. Hong Kong, 2016, available at: <https://www.math.hkust.edu.hk/> (accessed 6 December 2024).