

УДК 579.61:575.111
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-9-185-191

ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ НАХОДИТСЯ ПОД КОНТРОЛЕМ МИКРОБНОГО ГЕНОМА

М.А. Сабодаха

Аннотация. С окончанием пандемии COVID-19, население земного шара не избавилось от грозного вируса, остались «хвост» проблем и много нерешённых вопросов. Существовавшее ранее представление о происхождении микроорганизмов, в частности вирусов, базировавшееся на гипотезе вырождения и регресса клетки, в последнее время изменило направление на противоположное. В настоящей работе путём анализа научных данных о происхождении жизни на Земле, основанных на современных методах изучения филогенеза и палеовирусологии, поставлена задача – проследить цепочку эволюции от безжизненного пространства до формирования микробиома человека и показать роль бактерий и вирусов в прошлом, настоящем и будущем биосферы Земли. Разнообразие вирусных структур, форм существования и взаимодействий с хозяином, вызываемой патологии и роли в эволюции жизни на обитаемых пространствах, вызывает восхищение и является двигателем для дальнейшего изучения невидимых структур, управляющих разумом, поведением и жизнью человечества.

Ключевые слова: геном; микроорганизмы; эволюция жизни.

ЖЕРДЕГИ ЖАШОО МИКРОБДУН ГЕНОМУНУН КӨЗМӨЛҮНДӨ ТУРАТ

М.А. Сабодаха

Аннотация. COVID-19 пандемиясынын аякташы менен жер шарынын калкы дагы да болсо коркунучтуу вирустан арыла элек, койгөйлөрдүн “куйругу” жана көптөгөн чечилбеген маселелер калууда. Буга чейин микроорганизмдердин, атап айтканда, клетка дегенерация жана регрессия гипотезасына негизделген вирустардын келип чыгышы туурасына түшүнүк жакынкы аралктан бери карама-каршы багытка өзгөрдү. Бул иште филогенезди жана палеовирусологияны изилдөөнүн заманбап методдоруна таянып, жер бетинде жашоонун келип чыгышы жөнүндөгү илимий маалыматтарды талдоо менен жансыз космостон адамдын микробиомасынын пайда болушуна чейинки эволюциянын тизмегине көз салуу жана жердин биосферасынын өткөн учурдагы, азыркы жана келечектеги бактериялардын жана вирустардын ролун көргөзүү милдети коюлган. Вирустук түзүмдөрдүн көп түрдүүлүгү, жашоо формалары жана кабыл алуучу кожоюну менен өз ара аракеттенүүсү, пайда болгон патологиясы жана эл жашаган мейкиндиктерде жашоонун эволюциясындагы ролу суктанууну жаратат жана адамзаттын акылын, жүрүм-турумун жана жашоосун башкарган көзгө көрүнбөгөн структураларды андан ары изилдөөгө негиз болуп саналат.

Түйүндүү сөздөр: геном; микроорганизмдер; жашоонун эволюциясы.

LIFE ON EARTH IS UNDER THE CONTROL OF THE MICROBIAL GENOME

M.A. Sabodakha

Abstract. With the end of COVID-19 pandemic, the population of the Earth has not got rid of the threatening virus, there is still a "tail" of problems and a lot of unsolved questions. The previously existing idea of the origin of microorganisms, in particular viruses, based on the hypothesis of cell degeneration and regression, has recently changed its direction to the opposite. In this project, by analyzing scientific data on the origin of life on Earth based on modern methods of studying phylogenesis and paleovirology, the task is to trace the chain of evolution from lifeless space to the formation of the human microbiome, and to show the role of bacteria and viruses in the past, present and future of the Earth's biosphere. The diversity of viral structures, forms of existence and interactions with the host, induced pathology and role in the evolution of life in habitable spaces earns admiration and is a reason to further explore the invisible structures that govern the mind, behavior and life of mankind.

Keywords: genome; microorganisms; evolution of life.

*В жизни человека – за микробами
и, в ещё большей степени, за вирусами,
первое и последнее слово...*

Актуальность. Начало второго десятилетия XXI века ворвалось в историю человечества опустением улиц, переходом на дистанционное обучение, страхом перед неизвестностью, связанным с появлением особо опасного штамма вируса SARS-CoV-2 с высокой контагиозностью, необычным течением неуправляемой инфекции, избирательностью поражаемого контингента. Известный вид вируса, один из более чем двухсот, вызывающих острые респираторные заболевания (ОРЗ) сезонного характера, вдруг стал всесезонным пандемийным и способным убивать своего хозяина.

Объявленная завершённой 5 мая 2023 г. пандемия, не сопровождалась полным избавлением населения земного шара от столь грозного вируса, оставив за собой «хвост» проблем. Прежде всего, это постковидный хвост, под которым понимают затяжное течение, иногда похожее, то ли на эндогенный рецидив, то ли на реинфекцию.

Остались нерешёнными многие вопросы: как мог появиться такой коварный вирус, какие тесты для экстренной самодиагностики наиболее эффективны, чем лечить и как предотвратить развитие болезни, может ли человечество ещё столкнуться с подобными неуправляемыми инфекциями? И тут же, не успев до конца разобраться с непонятным и не один раз мутировавшим, коронавирус отодвигается на задний план и объявляется всем приготовиться к встрече с более смертоносным и коварным X-вирусом.

При таких обстоятельствах интересно было обратиться к истории возникновения пандемий, к зарождению жизни на Земле. И чем больше погружаешься в проблему, тем очевиднее становится, что не микробы живут в мире людей, а совсем наоборот – человек живет в мире микробов, тесно взаимодействует с ними, зависим от них, микробы управляют мыслями, поведением, настроением! И именно микроорганизмы, а из них, по-видимому, вирусы, находясь на границе между живым и неживым, обеспечивают связь с LUCA (Last Universal Common Ancestor – последняя популяция упрощённых одноклеточных

прокариотических организмов, жившая около 4,5 млрд лет назад и имевшая около 355 генов, от которой произошли все организмы на Земле), а LUCA – со всеми, расположенными вверх по цепочке филогенетического древа жизни [1].

Исходя из этого, **цели и задачи** настоящей работы – путём анализа научных данных о происхождении жизни на Земле, проследить цепочку эволюции от безжизненного пространства до формирования биосферы и напомнить о роли бактерий и вирусов для прошлого, настоящего и будущего.

Обсуждение. Все привыкли думать, что микробы приносят только вред человечеству в виде болезней и смерти, и что с ними надо бороться до полного уничтожения. Но это не так, потому что все организмы биоты находятся в замкнутой цепочке, взаимосвязаны и взаимозависимы. Выпадет один организм – другие погибнут, если не появится взаимозамещающий организм или не произойдет мутация.

Biota, в переводе с латинского, означает – живые организмы планеты Земля, а жизнь, как известно, это форма существования материи, обладающая свойствами живого – размножаться, и атрибутами – наличием генетической информации.

Между всеми ныне известными формами жизни, обитающими в биосфере, устанавливаются различные формы *симбиоза*: взаимовыгодные (+/+), конкуренция (-/-), паразитизм (+/-). Это и создает многообразие и разнообразие видов жизни на Земле, которое формируется и существует в пределах закона единства и борьбы противоположностей, а развитие жизни на Земле происходит по закону: от простого – к сложному и по спирали.

Среди клеточных форм жизни первыми появились археи – около 4,5 млрд лет назад. Но ещё раньше появились вирусы, хотя их открыли и изучили значительно позже, чем бактерии [2].

Микроорганизмами, с размерами меньше 0,1 мм, принято считать бактерии, грибы, одноклеточные простейшие, вирусы, которые

распространены повсеместно в биосфере – в воздухе, воде, в почве, они заселяют различные биоорганизмы. Так, в организме человека собственных клеток меньше, чем клеток бактерий в десятки раз. А в целом, бактерий и вирусов на нашей планете больше, чем людей, но те и другие могут изменять естественный ход истории, вплоть до полного уничтожения всего живого на Земле, и влиять друг на друга.

Прокариотические и **эукариотические** микроорганизмы во внешней среде участвуют в круговороте веществ в природе, их используют в пищевой, химической, фармацевтической промышленности, биотехнологиях, биомедицинских космических программах, разработке закрытых систем жизнеобеспечения.

Взаимодействуя гармонично с организмом человека, естественная микрофлора, колонизируя нестерильные органы и ткани, участвует в физиологических биохимических процессах, в поддержании гомеостаза, в синтезе витаминов, в защите от патогенных и гнилостных микробов, регулирует работу органов.

На сегодняшний день из 5 нониллионов (5×10^{30}) открытых наукой микроорганизмов, классифицировано и описано около 10 тысяч видов бактерий, а из миллиардов потенциально существующих вирусов открыты и изучены всего лишь 6 тысяч видов. Но именно с вирусами связано начало развития жизни.

Вирусы (*virus* с *лат.* – яд, т. е. вещество, отравляющее, вызывающее смерть) способны проникать в клетки всех живых организмов. Есть вирусы человека, животных, птиц, червей, насекомых, бактерий (бактериофаги), грибов, растений, мхов, вирусов (виофаги).

Сами не имея клеточной структуры и балансируя на границе между живым и неживым миром, вирусы научились устанавливать с другими организмами различные формы **облигатного симбиоза** исходя из обстоятельств, часто обусловленных наличием дополнительных факторов: антропогенных (возраст, пол, состояние иммунной системы, наличие сопутствующей патологии), социальных (характер питания, условия проживания, эмоции, стресс, материальная обеспеченность, доступность медицины),

экологических (климат, чистота воздуха, водных источников).

О роли вирусов известно меньше информации, чем о других патогенах, потому что их долгое время невозможно было изучить привычными для бактерий методами: микроскопическим, культивирования, серологическим, поскольку они имеют наноразмеры, являются облигатными внутриклеточными паразитами и не растут на питательных средах, антитела против них, не зная о существовании самих вирусов, обнаружить невозможно.

Попав в организм, вирионы вирусов разлагаются до нуклеиновой кислоты и прячутся в клетке. А дальше как поведет себя вирус, зависит от заложенной в него природой программы. Целые геномы вирусов могут интегрировать в геном клетки-хозяина, превращаясь в провирус, и долгое время в таком состоянии персистировать. Но, однажды, подобное сосуществование может привести к мутации в генах клетки-хозяина, и к неконтролируемому делению с развитием рака или иной патологии. Так, например, доказано бактериальное происхождение гена ГТО, мутация в котором – одна из причин ожирения [3], или может продолжиться репродукция вируса с разрушением клетки и развитием инфекции.

С открытием вирусов, постоянно возникает вопрос: насколько можно считать живыми организмами то, что не видно невооруженным глазом? Какими свойствами обладает живой организм, через что проявляет свои жизненные признаки?

Вот бактерии – это живые одноклеточные организмы, для которых так же, как и для человека, характерны свойства и понятия – питание, дыхание, обмен веществ белково-углеводно-липидно-минеральный, двухфазный метаболизм из фаз катаболизма и анаболизма, рост, размножение делением, паразитизм, обусловленный средой обитания и источником питания.

Для вирусов свойственно лишь размножение репродукцией с облигатным внутриклеточным паразитизмом, связанным с отсутствием собственных белок-синтезирующих систем.

Вне организма человека, в водной среде встречаются вирусы, колонизирующие

организмы водных обитателей. В одной чайной ложке морской воды обнаружено до 1 миллиона вирусов бактерий – фагов, которые участвуют в круговороте углерода в морской среде, стимулируют рост водорослей, предотвращают цветение воды, регулируют процесс фотосинтеза в ходе которого утилизируется CO₂.

Вирусы – самая распространенная внутри других видов организмов и по численности среди других организмов форма существования органической материи на планете. В процессе одного цикла репродукции за несколько минут появляются сотни и тысячи новых вирусов, у бактерий за аналогичное время генерации – лишь одно деление. Это живые хранилища неисследованного генетического разнообразия в природе.

Вирусы регулируют численность своих хозяев, участвуют в горизонтальном переносе генов между особями. В молекулярной и клеточной биологии вирусы применяются для изучения механизмов генетики, транспорта белка, репликации ДНК; в генной инженерии, в биотехнологиях их используют как векторы переноса генов; в нанотехнологиях вирусы-фаги служат для переноса генов в клетках бактерий; в вирофаготерапии – это альтернатива антибиотиков для лечения и профилактики инфекционных заболеваний; в онкотерапии – для дозированной точечной внутриклеточной доставки препарата; в генотерапии – для лечения соматической патологии; «хорошие» вирусы вакцин формируют иммунитет.

Вирусы есть везде, где есть жизнь. Они участвовали в ранней эволюции до расхождения «древа жизни» на 3 главных домена (археи, бактерии и эукариоты) общего универсального предка жизни на Земле.

Три ранние гипотезы происхождения вирусов появились исторически на основании идентификации роли характерных для вирусов структур, обнаруженных у организмов, стоящих выше в иерархической лестнице: *регрессивная* или *дегенерация* митохондрий; *клеточного происхождения* или *кочевания* фрагментов ДНК или РНК, которые случайно вышли за пределы клетки; *коэволюции* – развития параллельно

клеточным формам из сложных комплексов нуклеиновых кислот и белков клетки хозяина.

Выше упомянутые гипотезы частично объясняют происхождение вирусов, но в обратном порядке, исходя из тех фактов, что уже были известны до открытия вирусов в 90-е гг. XIX века.

Изучение в последние десятилетия истории зарождения жизни на Земле с использованием современных методов исследования (метода молекулярной филогенетики, метагеномного анализа и др.) дало повод выдвинуть новые гипотезы с разворотом на 180° полученных знаний о происхождении и роли вирусов.

Как известно, каждый живой организм, и человек в том числе, индивидуален и это кодируется его геномом с определенной последовательностью 3 099 734 149 пар оснований ДНК и РНК.

В 1990–2023 гг. по линии Национальной организации здравоохранения США проводилась работа по *секвенированию человеческого генома* [4].

Геном – это совокупность генов, состоящая у человека из 23 пар ядерных хромосом и множества копий митохондриальной ДНК.

Было установлено, что геном клетки человека, имеющей эукариотическую структуру, включает около 23 тысяч генов ДНК, из них около 19 969 активных генов, кодирующих белки с известной функцией и функциональные РНК. Остальная часть – «мусорная», это около 97 % генома, часто передающаяся горизонтально, включает в том числе около 150 генов вирусов, бактерий и других одноклеточных организмов, а также – транспозоны, псевдогены, тысячекратно копирующиеся участки, часто повторяющиеся цепочки эндоретровирусных или иных подобных генов [5]. Причем, встраиваются они в виде фрагментов или генов в определенные участки генома, вдали от кодирующих и регулирующих активность клетки, принимая на себя возникающие при делении клетки мутации и, таким образом, помогают клетке выжить. В ином случае – при мутации в зоне активных генов, клетка погибает.

Чужие гены (приблизительно, 1 % от «мусорного» генома человека) обнаружены у разных

организмов. Давно известна группа примерно из 30 **эндоретровирусов**, передающихся вертикально через половые клетки млекопитающих. Гены эндоретровирусов экспрессируются при необходимости синтеза экзантированного белка (а в ходе эволюции ставшего выполнять иные функции), обеспечивающего контакт плаценты со слизистой матки, т. е. белки оболочки ретровирусов стали белком, который экспрессируется в синцитиотрофобласте плаценты и обеспечивает слияние клеток цитотрофобласта плаценты с образованием синцития. Такие белки выявлены у самок человека, приматов, грызунов, зайцев, хищников, копытных. Способность к образованию подобной структуры была приобретена у разных видов млекопитающих около 10 млн лет назад.

Эндогены других вирусов способны экспрессировать клеточные РНК и белки, иногда клеточные рецепторы, могут защищать от родственных вирусов по типу интерференции. Вместе с тем, не исключено, что эти вирусы потенциально способны вызывать инфекцию через образование полноценных активных вирусов, вышедших из состояния провирусов. Эндогенные вирусы не из семейства ретровирусов выявляются в геноме растений, грибов, позвоночных животных. Так, в геномах позвоночных встречаются генетические фрагменты близкие к вирусам из семейств филовирюсов, парвовирусов, цирковирусов. В геномах растений обнаружены эндогенные вирусные частицы, близкие к семействам параретровирусов, геминивирусов.

Еще одна структура генома человека – **митохондриальная ДНК** (мтДНК). В эукариотических клетках разных видов организмов количество митохондрий варьирует от 0 до нескольких сотен тысяч в зависимости от потребностей клеток в энергии. У человека митохондриальная ДНК кодирует 13 митохондриальных функциональных белков, участвующих в процессе превращения химической энергии в АТФ. Считается, что митохондрии – это потомки аэробных протобактерий из родов Риккетсии, Эрлихии, Анаплазма, способствовавшие эволюции эукариот от одноклеточных до многоклеточных с аэробным типом дыхания [6].

Интересное предположение сделано рядом ученых о том, что появление полового размножения в ходе эволюции явилось способом защиты от накопления вредных мутаций в популяции. При этом у всех видов животных мтДНК наследуется только по материнской линии. У человека материнская наследуемость мтДНК привела к более частому проявлению ряда болезней по мужской линии: мужскому бесплодию, ускоренному старению и более короткой продолжительности жизни в сравнении с женщинами [7].

РНК, ДНК бактериофаги – наиболее древняя группа вирусов. Фаги присутствуют повсюду, где есть чувствительные бактериальные клетки. Они регулируют численность бактерий в экосистемах, микробиоме человека и животных, используются в векторных системах для переноса бактериальных генов, в космических биосистемах для контроля радиации, для профилактики и лечения бактериальных инфекций, в том числе у детей, беременных и кормящих матерей, не разрушая микробиом, не нарушая целостность биологических мембран, покрытых полисахаридами, совместимы со всеми лекарственными препаратами, не токсичны, являются природными антисептиками. Фаги используются для лечения и профилактики бактериальных инфекций человека, в ветеринарии, для защиты растений.

Вирофаги. Существуют вирусы не только у бактерий, есть они у простейших, у архей, и даже у вирусов, их называют вирофаги. Вирофаги – это вирусы-сателлиты, неспособные самостоятельно паразитировать, им нужен помощник, например, у хозяина фага Мими-вируса – амёбы помощником работает вирофаг Спутник. Подобных вирофагов у ДНК-геномных Мими-вируса и Фиконда-вируса открыто 5 и еще 18 секвенировано на основе метагеномного анализа.

Вироиды – одноцепочечные РНК, были открыты в 1976 году. Вероятно, вирусы произошли от примитивной вироид-подобной РНК через захват клеточного транскрипта с использованием ДНК-зависимой РНК-полимеразы клетки хозяина для синтеза РНК. Предположительно, вироидом является неполноценный дельта-вирус гепатита D человека, вирус-сателлит, неспособный самостоятельно репродуцироваться, для чего

ему необходим помощник, каковым является вирус гепатита В, предоставляющий дельта-вирусу внешнюю оболочку с рецепторами для адсорбции на гепатоцитах.

Большинство же известных виридов вызывают заболевания у растений, распространяясь с пылью.

Также у растений были обнаружены *ретровирусы* как группа неавтономных молекул РНК, самоисключающихся с помощью фермента для вырезания из генома – рибозима.

Итак, проанализировав, какие жизненно важные структуры у разных видов организмов имеют идентичное строение и выполняют схожие функции, а это – ДНК и РНК, мы подошли к главному вопросу – зарождения жизни и дальнейшей её эволюции под контролем вирусов и бактерий.

Возраст Вселенной – 14 млрд лет, столько времени прошло с момента Большого взрыва. В Галактике насчитывается 140 млрд планет, подобных Земле. Пока неизвестно, есть ли ещё обитаемые планеты во Вселенной, помимо Земли. Но уже точно установлено, что человек – это продукт эволюции природы в цепочке сигнатур, связанных с жизнью – N, C, O₂, CH₄, NH₃, H₂O.

Благодаря развитию науки, открытию физико-химических свойств новых материалов, изобретению сверхчувствительных приборов и диагностических тестов, меняются приоритетные гипотезы о происхождении жизни на Земле. Далеко не все существующие гипотезы идеальны, но каждый нюанс дополняет, уточняет процесс сотворения Мира, длившийся миллионы лет.

Наиболее правдоподобные – гипотеза 1924 года Опарина – Холдейна о происхождении жизни на Земле *путем самозарождения* и более поздняя гипотеза 1968 г. Вёзе – Орджелла – Гильберта – *мира РНК*, при дальнейшей специализации самореплицирующихся структур, дали возможность сформулировать современную гипотезу *ДНК-РНК-белковую*, утверждающую, что в живых организмах все процессы происходят при участии ферментов белковой природы, белок синтезируется с информации в ДНК, удвоение ДНК происходит при участии белка и РНК.

Из водных доклеточных структур и при параллельно происходящем усилении вулканической активности с выделением газов ранней атмосферы, появились клетки анаэробов в водной среде, сине-зеленые водоросли, использующие энергию солнечного света, способные поглощать CO₂ и выделять O₂, который накапливался, формируя озоновый слой Земли, защищающий от УФЛ. Водные доклеточные (вирусы), одноклеточные, многоклеточные стали выходить на поверхность земли и появились земноводные, наземные животные, птицы, млекопитающие, человек.

Актуальный вопрос сегодняшнего дня: как могли появиться вирусы пандемии COVID-19?

Из вышесказанного, логично предположить несколько версий естественного происхождения: вирусы могли быть занесены из космоса с других обитаемых планет, где есть или была жизнь, или могли появиться эволюционным путем на Земле.

Известно, что ежегодно на Землю из космоса прилетает более 5 тысяч тонн космической пыли. Каждые сутки падает около 60 тонн микрометеоритов.

Возможное внеземное происхождение вирусов подтверждается рядом фактов. По мнению астрофизиков, при формировании Солнечной системы планета Фаэтон по пути движения к Солнцу была разрушена во время космической катастрофы при столкновении с планетой X. В результате между Марсом и Юпитером образовался пояс астероидов. Астероиды, метеориты, кометы – источники пыли и льда с замерзшим газом, органическими молекулами в виде вирусов и бактерий долетают до Земли. Из истории известно, что органические молекулы во льду наиболее выживаемые, могут переносить космический холод, жесткое излучение и высокие температуры. Распыляясь с водяным паром во время активности вулканов и осадками на поверхность Земли такие органические структуры становились источником пандемий чумы, оспы, гриппа и, возможно, COVID-19.

Не исключено, что вирус SARS-CoV-2 мог возникнуть эволюционным путем, переходя от человека к животным и снова к человеку. Или существующий известный коронавирусу

превратился в мутанта под действием природных или искусственных мутагенов, таких как контрейлы с реагентами для управления облаками, электромагнитных волн вышек сотовой связи, грозových разрядов, радиации, УФЛ.

Давно было подмечено, что именно вирусные эпидемии появлялись на фоне повышенной активности земной коры, при таянии высокогорных ледников и зоны вечной мерзлоты, при увеличении количества метеорных потоков. 2019 г. был самым теплым на Земле, и когда начали таять ледники Тибета, американские ученые обнаружили 28 неизвестных вирусов, существовавших 15 тысяч лет назад. В ноябре 2019 года японскими учеными была отмечена наибольшая активность метеорных потоков над северными широтами, а над Китаем взорвался метеорит и впоследствии выявлен след распространения вирусных частиц в верхних слоях атмосферы между 30–50 градусами северной широты. В эти же сроки на комете Джакобини – Циннера обнаружили следы сложной органики – присутствие сахара рибозы – одного из компонентов РНК [8]. Миграция вирусов продолжается...

Выводы.

1. Вторжение в тропические леса, освоение новых территорий, потепление климата, активность вулканов, таяние ледников и зоны вечной мерзлоты, плохая экологическая обстановка, увеличение метеорных потоков может приводить к активации спящих микробов и их миграции.

2. Пандемия COVID-19 показала, насколько беззащитен и слаб человек перед природой, поэтому необходимо проводить грамотный анализ полученного опыта, тщательный мониторинг состояния биосферы Земли, состояния здоровья населения, а при малейших отклонениях моделировать ситуацию, разрабатывать алгоритмы предотвращения развития тяжелых последствий.

3. На Давосском форуме 15–19 января 2024 года было заявлено о новой Мировой угрозе от вируса X, которого ещё никто не видел, но

уже известно, что он будет в 20 раз более смертельным. Исходя из опыта, можно предположить, что на роль X-вируса может претендовать вирус из семейства с высокой изменчивостью, легко и быстро распространяющийся разными механизмами и путями передачи, к нему должна быть высокая восприимчивость и отсутствовать иммунитет.

Поступила: 05.07.24; рецензирована: 26.07.24;
принята: 29.07.24.

Литература

1. *Лалаянц И.* Гомо сапиенс и геном / И. Лалаянц // Наука и жизнь. 2002. № 7. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/4485> (дата обращения: 05.02.2024).
2. *Лукашев А.* Неприятно познакомиться: как появились вирусы и почему в России их меньше, чем в Китае / А. Лукашев // Сеченовский вестник. URL: <https://www.sechenov.ru.news> (дата обращения: 07.02.2024).
3. *Балхиярова Ж.Р.* Современное состояние исследований в области ожирения: генетические аспекты, роль микробиома и предрасположенность к COVID-19-ПМС / Ж.Р. Балхиярова, О.В. Когетова, Я.Р. Тимашева // Проблемы эндокринологии. 2021. № 67 (4). С. 20–35.
4. Геном человека Human Genome Project Completion: Frequently Asked Questions. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 03.01.2024).
5. В ДНК человека более 100 генов других организмов // Научная Россия. 13.03.2015. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/V/> (дата обращения: 10.03.2024).
6. *Шендеров Б.А.* Роль митохондрий в профилактической, восстановительной и спортивной медицине / Б.А. Шендеров // Вестник восстановительной медицины. 2018. № 1. С. 21–30.
7. *Панов А.В.* Происхождение митохондрий и их роль в эволюции жизни и здоровья человека / А.В. Панов, М.В. Голубенко, М.А. Даренская, С.И. Колесников // Acta biomedica scientifica. 2020. V. 5. № 5. С. 12–25.
8. *Стасив И.В.* Гипотеза о внеземном происхождении вирусов на планете Земля / И.В. Стасив // Colloquium – Journal. 2022. 15 (138). С. 29–36.