



БИОМИКА/BIOMICS

ISSN 2221-6197 <http://biomicsj.ru>



ПОЛТОРА СТОЛЕТИЯ «РАСКРУЧИВАНИЯ» ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ ДНК (редакторская статья)

Чемерис А.В.

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Россия, 450054, Уфа, пр. Октября, 71, chemeris@anrb.ru

Резюме

Дана краткая характеристика тематического номера, посвященного юбилейной дате открытия ДНК в виде богатого фосфором соединения, обнаруженного в ядрах из лейкоцитов гноя молодым швейцарским биохимиком Фридрихом Мишером 150 лет назад и названного нуклеином. Помимо малоизвестных страниц ранней истории изучения нуклеина и открытия двойной спирали ДНК, значительное внимание в тематическом номере уделено результатам исследований этой крайне важной биополимерной молекулы последних лет, включая ее небιологическое применение.

Ключевые слова: ДНК, нуклеин, двойная спираль, Ф.Мишер, Дж.Уотсон, Ф.Крик

Цитирование: Чемерис А.В. Полтора столетия «раскручивания» двойной спирали ДНК (редакторская статья) // Биомика. 2019. Т.11(3). С. 242-248. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-22

© Автор(ы)

A CENTURY AND A HALF OF “UNTWISTING (PROMOTING)” THE DOUBLE HELIX OF DNA (editorial)

Chemeris A.V.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,
71 Prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russia, chemeris@anrb.ru

Resume

A brief description of the thematic issue dedicated to the jubilee anniversary of the discovery of DNA 150 years ago in the form of a phosphorus-rich compound found in the nuclei of white blood cells of pus by a young Swiss biochemist Friedrich Miescher and called nuclein is given. In addition to the little-known pages of the early history of the study of nuclein and discovery of double helix of DNA, significant attention in this thematic issue is paid to the results of research of these extremely important biopolymer molecules in recent years, including its non-biological application.

Keywords: DNA, nuclein, double helix, F.Miescher, J.Watson, F.Crick

Citation: Chemeris A.V. A century and a half of “untwisting (promoting)” the double helix of DNA (editorial). *Biomics*. 2019. V.11(3). P. 242-248. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-22

© The Author(s)

150 лет назад молодым швейцарским ученым Фридрихом Мишером (1844 – 1895) совершено непреходящей ценности открытие в области наук о Жизни в виде обнаружения в 1869 г. новой богатой фосфором субстанции, названной им нуклеином, поскольку источником послужили ядра (nucleus) лейкоцитов, добываемых им из гноя [Miescher, 1871]. В связи с такой солидной датой было принято

решение подготовить тематический номер журнала Биомики, посвященный открытию нуклеина, открытию двойной спирали ДНК, а также современным исследованиям ДНК. Определенные основания для этого у нас есть. Так сложилось, что Уфа уже на протяжении многих лет является одним из центров изучения нуклеиновых кислот растений в нашей стране, начало которым было положено еще в середине 1950-х годов работами известного ученого академика В.Г.Конарева. Будучи учеником академика А.Н.Белозерского, фактически впервые выделившим ДНК из клеток растений, В.Г.Конарев, создав в Уфе лабораторию нуклеинового обмена, успешно продолжил разработку этой проблемы, уделив значительное внимание особенностям физико-химического состояния ДНК в клеточном ядре растений и роли рибонуклеиновых кислот в проявлении функциональной активности ДНК. Причем это были еще годы, когда лысенковское засилье в биологической науке в СССР практически накладывало вето на изучение биологической роли нуклеиновых кислот. Признанием достижений уфимской школы биохимиков растений тех лет явилось проведение в Уфе в 1958 и 1962 годах двух первых Всесоюзных конференций по проблемам нуклеиновых кислот растений. Книги В.Г.Конарева «Методы исследования нуклеиновых кислот растений» и В.Г.Конарева с С.Л.Тютеревым «Методы биохимии и цитохимии нуклеиновых кислот растений» [Конарев (Konarev), 1967; Конарев, Тютерев (Konarev, Tyuterev), 1970] суммировали в себе описание и подробный анализ практически всех применяемых тогда методов исследования нуклеиновых кислот растений, благодаря чему, они на протяжении многих лет были настольными руководствами многих биохимиков растений всего СССР. Продолжая традиции старших коллег, в Уфе была подготовлена довольно объемная монография «Секвенирование ДНК» [Чемерис и др. (Chemeris et al.), 1999], вышедшая в издательстве «Наука» и ставшая даже бестселлером, отчасти потому, что она явилась первой книгой такого рода в России. В настоящее время авторским коллективом (А.В.Чемерис и др.) продолжается написание не имеющего аналогов в мире семитомного труда «Циклика нуклеиновых кислот», где будут рассмотрены практически все способы амплификации и высокочувствительной детекции специфических фрагментов ДНК и РНК.

С начала 1990-х годов методический арсенал в Уфе пополнился генно-инженерными подходами, что привело к созданию многочисленных трансгенных растений, с уделением внимания различным промоторам и даже их конструированию [Akhunov et al., 2001; Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2008; 2010 и др.].

В те же годы к нуклеиновым кислотам растительных объектов в Уфе добавились исследования генома человека, проводящиеся, в том числе, в рамках различных международных консорциумов [Behar et al., 2010; Sudmant et al., 2015; Mallick et al., 2016 и др.], а также геномов насекомых и пчел в частности [Ильясов и др. (Ilyasov et al.), 2016; Юнусбаев и др. (Yunusbaev et al.), 2019 и др.]. В последнее время проявляется в Уфе интерес и к небологическому применению молекул ДНК, в том числе к таким направлениям как ДНК-цифровизация, ДНК-стеганография, долговременное хранение в ДНК различной информации [Чемерис и др. (Chemeris et al.), 2019; 2019a]. Поэтому вполне оправданным выглядит наше желание в юбилейный год открытия нуклеина посвятить отдельный номер журнала Биомика этой крайне важной биологической макромолекуле.

Открывается данный номер статьей¹, непосредственно описывающей события, сопровождавшие выделение доселе неизвестного вещества Ф.Мишером в Тюбингенском университете, где он находился в Германии на стажировке в лаборатории известного ученого-биохимика Ф.Гоппе-Зейлера [Burne, Dahm, 2019]. Авторам удалось хорошо передать атмосферу тех лет, а также бережное отношение к памяти великого ученого, совершившего величайшее открытие в стенах старого замка. Во второй статье [Герашенков и др. (Gerashchenkov et al.), 2019] кратко описываются различные, в том числе, малоизвестные события, предшествующие и сопровождавшие два великих открытия XIX-го и XX-го веков в области биологических наук в виде соответственно обнаружения нуклеина и открытия двойной спирали ДНК. Третья статья номера посвящена «российскому» следу в ранних исследованиях ДНК и самого нуклеина [Гарафутдинов, Чемерис (Garafutdinov, Chemeris), 2019]. В ней приводятся не самые известные сведения, касающиеся причастности российских ученых (в том числе вынужденно покинувших Россию) к открытию нуклеина и к изучению, как ДНК, так и РНК, синонимами которых долгое время являлись тимонуклеиновая и дрожжевая (или фитонуклеиновая) кислоты соответственно. Причем обобщенного в одной статье рассмотрения вклада россиян в эти исследования не имеется и данная публикация этот пробел призвана заполнить. Фактически в этих трех «исторических» статьях о нуклеине и нуклеиновых кислотах содержится разная информация, но при этом дополняющая друг друга, и чтобы составить более полное представление о событиях тех лет можно порекомендовать прочесть их

¹ не учитывая данную редакционную.

все.

Присутствующее в названии этой статьи слово «раскручивание», безусловно имеющее отношение к процессам, происходящим *in vivo* и *in vitro* с двойной спиралью ДНК, подразумевает также и другой процесс, предполагающий продвижение результатов всевозможных исследований молекул ДНК в область коммерции, что отчетливо заметно в последние десятилетия и можно не сомневаться, что оно будет только расти. То есть можно усмотреть в данном заголовке некоторую игру слов, и отчасти поэтому в остальных статьях данного номера Биомики описаны исследования нуклеиновых кислот, так или иначе имеющих отношение к коммерциализации. Наряду с важными социальными аспектами. Собственно (само)размножение ДНК (РНК) в системах *in vitro*, происходящее на основе принципа комплементарности азотистых оснований, дает возможность пользоваться им не только в научных целях.

Не так давно мы опубликовали большую статью, посвященную эволюции ДНК-идентификации личности, проводимую в криминалистических целях [Чемерис и др. (Chemiris et al.), 2018], но существующие базы данных преступников затронули в ней весьма коротко, указав, что специально уделим этому вопросу отдельное внимание и в данном номере выполняем свое обещание и восполняем тот пробел [Анисимов и др. (Anisimov et al.), 2019]. Тем более, что все чаще слышатся голоса о необходимости создания не только криминалистических баз данных по ДНК, но и для проведения ДНК-регистрации всего населения, сопряженной с организацией соответствующих баз данных.

Ранее нами был подготовлен тематический номер Биомики² [Чемерис (Chemiris), 2017], посвященный геномному редактированию с помощью CRISPR/Cas-технологии и смежным вопросам [Баймиев и др. (Baumiev et al.), 2017; 2017a; Вершинина и др. (Vershinina et al.), 2017; Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2017; 2017a; Чемерис и др. (Chemiris et al.), 2017a]. Но это столь бурно развивающееся направление исследований современной физико-химической биологии настоятельно требует постоянного слежения за новыми достижениями в данной области, в связи с чем нами были подготовлены затем другие обзорные статьи [Чемерис и др. (Chemiris et al.), 2018], в том числе по охвату материала не имеющие аналогов в мире [Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2019; Геращенко и др. (Gerashchenkov et al.), 2020]. Однако сейчас мы сочли необходимым дополнительно обратиться к этим вопросам, результатом чего в данном номере появилась статья,

посвященная некоторым новшествам CRISPR/Cas-технологий последних двух лет [Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2019a].

Завершает данный номер журнала статья по небологическому применению молекул ДНК [Сахабудинова и др. (Sakhabudinova et al.), 2019], что в последние годы очень активно развивается, и не исключено, что через какое-то время в ДНК можно будет без особых трудностей долговременно хранить любую информацию, полученную человечеством ранее и создаваемую вновь.

Поскольку на протяжении уже нескольких десятков лет происходит самое настоящее «раскручивание» двойной спирали ДНК в различных сферах человеческой деятельности (причем идущее по нарастающей), то возвращаясь к заголовку данной статьи можно еще раз констатировать, что слово «раскручивание» в нем вполне уместно.

Литература

1. Анисимов В.А., Гарафутдинов Р.Р., Сагитов А.М., Сахабудинова А.Р., Луценко В.И., Хуснутдинова Э.К., Аминев Ф.Г., Чемерис А.В. ДНК-криминалистика – зарождение, современность и перспективы современность и перспективы // *Биомика*. 2019. Т.11(3). С. 282-314. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-26
2. Баймиев Ан.Х., Кулуев Б.Р., Вершинина З.Р., Князев А.В., Чемерис Д.А., Рожнова Н.А., Геращенко Г.А., Михайлова Е.В., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. CRISPR/Cas редактирование геномов (растений) и общество // *Биомика*. 2017. Т.9. С.183-202.
3. Баймиев Ан.Х., Чемерис Д.А., Кирьянова О.Ю., Матниязов Р.Т., Валеев А.Ш., Баймиев Ал.Х., Губайдуллин И.М., Чемерис А.В. Биоинформатические ресурсы для *in silico* поиска CRISPR локусов в геномах прокариот // *Биомика*. 2017а. Т.9. С.229-244.
4. Вершинина З.Р., Кулуев Б.Р., Геращенко Г.А., Князев А.В., Чемерис Д.А., Гумерова Г.Р., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Эволюция методов редактирования геномов // *Биомика*. 2017. Т.9. С.245-270.
5. Гарафутдинов Р.Р., Чемерис А.В. «Российский след» в ранних исследованиях нуклеиновых кислот // *Биомика*. 2019. Т.11(3). С. 266-281. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-25
6. Геращенко Г.А., Гарафутдинов Р.Р., Баймиев Ан.Х., Кулуев Б.Р., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Два великих открытия двух столетий - нуклеин и двойная спираль ДНК // *Биомика*. 2019. Т.11(3). С. 259-265. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-24
7. Геращенко Г.А., Рожнова Н.А., Кулуев Б.Р., Кирьянова О.Ю., Гумерова Г.Р., Князев А.В., Вершинина З.Р., Михайлова Е.В., Чемерис Д.А.,

² Биомика, 2017, Том 9, номер 3.

- Матниязов Р.Т., Баймиев Ан.Х., Губайдуллин И.М., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Дизайн РНК-гидов для CRISPR/CAS редактирования геномов растений // *Молекулярная биология*. 2020. Т.54(1). С. DOI: 10.1134/S0026898420010061
8. Ильясов Р.А., Поскряков А.В., Николенко А.Г. Семь генов митохондриального генома, позволяющие дифференцировать подвиды медоносной пчелы *Apis mellifera* // *Генетика*. 2016. Т. 52. № 10. С. 1176-1184. DOI: 10.7868/S001667581609006X
9. Конарев В.Г. (ред.) Методы исследования нуклеиновых кислот растений. Ленинград. 1967. 181 с.
10. Конарев В.Г., Тютюрев С.Л. Методы биохимии и цитохимии нуклеиновых кислот растений. Ленинград. 1970. 204 с.
11. Кулуев Б.Р., Баймиев Ан.Х., Чемерис Д.А., Матниязов Р.Т., Геращенко Г.А., Никоноров Ю.М., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Применение CRISPR-локусов не для редактирования геномов // *Биомика*. 2017. Т.9. С.271-283.
12. Кулуев Б.Р., Геращенко Г.А., Рожнова Н.А., Баймиев Ан.Х., Вершинина З.Р., Князев А.В., Матниязов Р.Т., Гумерова Г.Р., Михайлова Е.В., Никоноров Ю.М., Чемерис Д.А., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. CRISPR/Cas редактирование геномов растений // *Биомика*. 2017а. Т.9. С.155-182.
13. Кулуев Б.Р., Гумерова Г.Р., Михайлова Е.В., Геращенко Г.А., Рожнова Н.А., Вершинина З.Р., Князев А.В., Матниязов Р.Т., Баймиев Ан.Х., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Доставка CRISPR/CAS-компонентов в клетки высших растений для редактирования их геномов. *Физиология растений*. 2019. Т.66(5). С.339-353. DOI: 10.1134/S0015330319050117
14. Кулуев Б.Р., Кирьянова О.Ю., Геращенко Г.А., Рожнова Н.А., Гумерова Г.Р., Вершинина З.Р., Матниязов Р.Т., Ахметзянова Л.У., Князев А.В., Михайлова Е.В., Гарафутдинов Р.Р., Баймиев Ан.Х., Губайдуллин И.М., Баймиев Ал.Х., Чемерис А.В. Некоторые новшества в CRISPR/Cas геномном редактировании и в смежных областях // *Биомика*. 2019а. Т.11(3). С. 315-343. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-27
15. Кулуев Б.Р., Князев А.В., Лебедев Я.П., Ильясова А.А., Чемерис А.В. Конструирование гибридных промоторов каулимовирусов и анализ их активности в трансгенных растениях // *Физиология растений*. 2010. Т. 57. С. 623-632.
16. Кулуев Б.Р., Чемерис А.В., Князев А.В. Активность промоторов вируса мозаики георгина и вируса кольцевой гравировки гвоздики в протопластах и трансгенных растениях табака // *Физиология растений*. 2008. Т.55, №5. С.763-770.
17. Сахабутдинова А.Р., Михайленко К.И., Гарафутдинов Р.Р., Сагитова М.А., Сагитов А.М., Чемерис А.В. Небиологическое применение молекул ДНК // *Биомика*. 2019. Т.11(3). С. 344-377. DOI 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-28
18. Чемерис А.В. CRISPR/Cas системы (специальный тематический выпуск журнала) // *Биомика*. 2017. Т.9(3). С. 148-154.
19. Чемерис А.В., Ахунов Э.Д., Вахитов В.А. Секвенирование ДНК. М., Наука. 1999. 429 с.
20. Чемерис А.В., Рожнова Н.А., Геращенко Г.А. Некоторые недавние улучшения методов геномного редактирования // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2018. №3(5). С. 86–93.
21. Чемерис Д.А., Кирьянова О.Ю., Геращенко Г.А., Кулуев Б.Р., Рожнова Н.А., Матниязов Р.Т., Баймиев Ан.Х., Баймиев Ал.Х., Губайдуллин И.М., Чемерис А.В. Биоинформатические ресурсы для CRISPR/Cas редактирования геномов // *Биомика*. 2017. Т.9. С.203-228.
22. Чемерис Д.А., Сагитов А.М., Аминев Ф.Г., Луценко В.И., Гарафутдинов Р.Р., Сахабутдинова А.Р., Васильев Р.Г., Алексеев Я.И., Сломинский П.А., Хуснутдинова Э.К., Чемерис А.В. Эволюция подходов к ДНК-идентификации личности // *Биомика*. 2018. Т.10(1). С.85-140. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-16
23. Чемерис Д.А., Чемерис А.В. Сагитов А.М., Гарафутдинов Р.Р., Михайленко К.И., Сагитова М.А. Способы кодирования информации с использованием азотистых оснований ДНК и олиготек // Заявка на патент РФ № 2019126609. Дата приоритета 23.08.2019 г.
24. Чемерис Д.А., Чемерис А.В. Гарафутдинов Р.Р., Сахабутдинова А.Р., Сагитов А.М., Васильев Р.Г., Сломинский П.А., Михайленко К.И., Сагитова М.А., Аминев Ф.Г., Хуснутдинова Э.К., Алексеев Я.И., Глубоков А.Ю., Луценко В.И., Анисимов В.А. Способ цифровой кодировки данных по однонуклеотидному полиморфизму ДНК, пригодному для ДНК-идентификации и ДНК-регистрации живых объектов, включая человека // Заявка на патент РФ № 2019126610. Дата приоритета 23.08.2019 г.
25. Юнусбаев У.Б., Каскинова М.Д., Ильясов Р.А., Гайфуллина Л.Р., Салтыкова Е.С., Николенко А.Г. Роль полногеномных исследований в изучении биологии медоносной пчелы // *Генетика*. 2019. Т. 55. № 7. С. 778-787. DOI: 10.1134/S0016675819060201
26. Akhunov E.D., Chemeris A.V., Kulikov A.M., Vakhitov V.A. Functional analysis of diploid wheat rRNA promoter by transient expression // *Biochim. Biophys. Acta*. 2001. V.1522(3). P.226-229. DOI: 10.1016/s0167-4781(01)00336-0

27. Behar DM, **Yunusbayev B³**, Metspalu M, Metspalu E, Rosset S, Parik J, Rootsi S, Chaubey G, Kutuev I, Yudkovsky G, **Khusnutdinova EK**, Balanovsky O, Semino O, Pereira L, Comas D, Gurwitz D, Bonne-Tamir B, Parfitt T, Hammer MF, Skorecki K, Villems R. The genome-wide structure of the Jewish people // *Nature*. 2010. V.466(7303). P.238-242. doi: 10.1038/nature09103
28. Byrne J., Dahm R. Friedrich Miescher and the 150th anniversary of the discovery of DNA. *Biomics*. 2019. V.11(3). P.249-258. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-23
29. Mallick S, Li H, Lipson M, Mathieson I, Gymrek M, Racimo F, Zhao M, Chennagiri N, Nordenfelt S, Tandon A, Skoglund P, Lazaridis I, Sankararaman S, Fu Q, Rohland N, Renaud G, Erlich Y, Willems T, Gallo C, Spence JP, Song YS, Poletti G, Balloux F, van Driem G, de Knijff P, Romero IG, Jha AR, Behar DM, Bravi CM, Capelli C, Hervig T, Moreno-Estrada A, Posukh OL, Balanovska E, Balanovsky O, Karachanak-Yankova S, Sahakyan H, Toncheva D, Yepiskoposyan L, Tyler-Smith C, Xue Y, Abdullah MS, Ruiz-Linares A, Beall CM, Di Rienzo A, Jeong C, Starikovskaya EB, Metspalu E, Parik J, Villems R, Henn BM, Hodoglugil U, Mahley R, Sajantila A, Stamatoyannopoulos G, Wee JT, **Khusainova R, Khusnutdinova E, Litvinov S**, Ayodo G, Comas D, Hammer MF, Kivisild T, Klitz W, Winkler CA, Labuda D, Bamshad M, Jorde LB, Tishkoff SA, Watkins WS, Metspalu M, Dryomov S, Sukernik R, Singh L, Thangaraj K, Pääbo S, Kelso J, Patterson N, Reich D. The Simons Genome Diversity Project: 300 genomes from 142 diverse populations // *Nature*. 2016. V.538(7624). P.201-206. doi: 10.1038/nature18964
30. Miescher F. Ueber die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen // *Medicinchemische Untersuchungen*. 1871. V.4. P. 441–460.
31. Sudmant PH, Mallick S, Nelson BJ, Hormozdiari F, Krumm N, Huddleston J, Coe BP, Baker C, Nordenfelt S, Bamshad M, Jorde LB, Posukh OL, Sahakyan H, Watkins WS, Yepiskoposyan L, Abdullah MS, Bravi CM, Capelli C, Hervig T, Wee JT, Tyler-Smith C, van Driem G, Romero IG, Jha AR, Karachanak-Yankova S, Toncheva D, Comas D, Henn B, Kivisild T, Ruiz-Linares A, Sajantila A, Metspalu E, Parik J, Villems R, Starikovskaya EB, Ayodo G, Beall CM, Di Rienzo A, Hammer MF, **Khusainova R, Khusnutdinova E**, Klitz W, Winkler C, Labuda D, Metspalu M, Tishkoff SA, Dryomov S, Sukernik R, Patterson N, Reich D, Eichler EE. Global diversity, population stratification, and selection of human copy-number variation // *Science*. 2015. V349(6253). aab3761. doi: 10.1126/science.aab3761

³ Здесь и далее жирным шрифтом среди авторов данной статьи выделены фамилии соавторов из Уфы

References

1. Akhunov E.D., Chemeris A.V., Kulikov A.M., Vakhitov V.A. Functional analysis of diploid wheat rRNA promoter by transient expression. *Biochim. Biophys. Acta*. 2001. V.1522(3). P.226-229. DOI: 10.1016/s0167-4781(01)00336-0
2. Anisimov V.A., Garafutdinov R.R., Sagitov A.M., Sakhabutdinova A.R., Khusnutdinova E.K., Aminev F.G., Chemeris A.V. DNA forensics – the origin, present state and future prospects. *Biomics*. 2019. V.11(3). P. 282-314. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-26 (In Russian)
3. Baymiev An.Kh., Kuluev B.R., Vershinina Z.R., Knyazev A.V., Chemeris D.A., Rozhnova N.A., Gerashchenkov G.A., Mikhailova E.V., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. CRISPR/Cas genome editing (plants) and society. *Biomics*. 2017. V. 9(3). P. 183-202. (In Russian)
4. Baymiev An.Kh., Chemeris D.A., Kiryanova O.Yu., Matniyazov R.T., Valeev A.Sh., Baymiev Al.Kh., Gubaidullin I.M., Chemeris A.V. Bioinformatic resources for in silico search of the CRISPR loci in the genomes of prokaryotes. *Biomics*. 2017a. V.9(3). P. 229-244. (In Russian)
5. Behar DM, **Yunusbayev B⁴**, Metspalu M, Metspalu E, Rosset S, Parik J, Rootsi S, Chaubey G, Kutuev I, Yudkovsky G, **Khusnutdinova EK**, Balanovsky O, Semino O, Pereira L, Comas D, Gurwitz D, Bonne-Tamir B, Parfitt T, Hammer MF, Skorecki K, Villems R. The genome-wide structure of the Jewish people. *Nature*. 2010. V.466(7303). P.238-242. doi: 10.1038/nature09103
6. Byrne J., Dahm R. Friedrich Miescher and the 150th anniversary of the discovery of DNA. *Biomics*. 2019. V.11(3). P.249-258. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-23
7. Chemeris A.V. CRISPR/Cas systems (Special thematic issue). *Biomics*. 2017. V.9(3). P. 148-154. (In Russian)
8. Chemeris A.V., Akhunov E.D., Vakhitov V.A. DNA Sequencing. M., Nauka. 1999. 429 P. (In Russian)
9. Chemeris A.V., Rozhnova N.A., Gerashchenkov G.A. Some recent improvements in genome editing techniques. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2018. №3(5). P. 86–93. (In Russian)
10. Chemeris D.A., Kiryanova O.Yu., Gerashchenkov G.A., Kuluev B.R., Rozhnova N.A., Matniyazov R.T., Baymiev An.Kh., Baymiev Al.Kh., Gubaidullin I.M., Chemeris A.V. Bioinformatic resources for CRISPR/Cas genome editing, *Biomics*, 2017, vol. 9, no. 3, pp. 203-228. (In Russian)
11. Chemeris D.A., Sagitov A.M., Aminev F.G., Lutsenko V.I., Garafutdinov R.R., Sakhabutdinova A.R.,

⁴ Among the authors of this article highlighted in bold here and further the names of co authors from Ufa

- Vasilov R.G., Alexeyev Ya.I., Slominsky P.A., Khusnutdinova E.K., Chemeris A.V. The evolution of approaches to DNA identification of personality. *Biomics*. 2018. V.10(1). P.85-140. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-16 (In Russian)
12. Chemeris D.A., Chemeris A.V., Sagitov A.M., Garafutdinov R.R., Mikhailenko K.I., Sagitova M.A. Information coding methods using nitrogenous bases of DNA and oligotec. RF patent Application No. 2019126609. Priority date 23.08.2019 (In Russian)
13. Chemeris D.A., Chemeris A.V., Garafutdinov R.R., Sahabutdinova A.R., Sagitov A.M., Vasilov R.G., Slominsky P.A., Mihailenko K.I., Sagitova M.A., Aminev F.G., Khusnutdinova E.K., Alekseev Ja.I., Glubokov A.Ju., Lutsenko V.I., Anisimov V.A. Sposob cifrovj kodirovki dannyh po odnonukleotidnomu polimorfizmu DNK, prigodnomu dlja DNK-identifikacii i DNK-registracii zhivyh ob'ektov, vkljuchaja cheloveka. Zajavka na patent RF № 2019126610. Data prioriteta 23.08.2019 (In Russian)
14. Garafutdinov R.R., Chemeris A.V. "Russian traces" in early nucleic acids research. *Biomics*. 2019. V.11(3). P. 266-281. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-25 (In Russian)
15. Gerashchenkov G.A., Garafutdinov R.R., Baymiev An.Kh., Kuluev B.R., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. The two greatest discoveries of two centuries - the nuclein and the double helix of DNA. *Biomics*. 2019. V.11(3). P. 259-265. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-24 (In Russian)
16. Gerashchenkov G.A., Rozhnova N.A., Kuluev B.R., Kiryanova O.Yu., Gumerova G.R., Knyazev A.V., Vershinina Z.R., Mikhailova E.V., Chemeris D.A., Matniyazov R.T., Baimiev An.Kh., Gubaidullin I.M., Baimiev Al.Kh., Chemeris A.V. Design of guide RNA for CRISPR/Cas plant genome editing. *Molecular Biology*. 2020. V.54(1).
17. Ilyasov R.A., Poskryakov A.V., Nikolenko A.G. Seven genes of mitochondrial genome enabling differentiation of honeybee subspecies *Apis mellifera*. *Genetika*. 2016. V.52(10). P.1176-1184. (In Russian)
18. Konarev V.G. (red.) *Metody issledovanija nukleinovyh kislot rastenij*. Leningrad. 1967. 181 s. [Konarev V.G. (ed.) *Methods of research of nucleic acids of plants*. Leningrad. 1967. 181 P.] (In Russian)
19. Konarev V.G., Tjuterev S.L. *Metody biohimii i citohimii nukleinovyh kislot rastenij*. Leningrad. 1970. 204 s. [Konarev V.G., Tyuterev S.L. *Methods of biochemistry and cytochemistry of nucleic acids of plants*. Leningrad. 1970. 204 P.] (In Russian)
20. Kuluev B.R., Baymiev An.Kh., Chemeris D.A., Matniyazov R.T., Gerashchenkov G.A., Nikonorov Yu.M., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. The application of the CRISPR loci not for editing of genomes. *Biomics*. 2017. V.9(3). P.271-283. (In Russian)
21. Kuluev, B.R., Gerashchenkov, G.A., Rozhnova, N.A., Bayimiev, An.Kh., Vershinina, Z.R., Knyazev, A.V., Matniyazov, R.T., Gumerova, G.R., Mikhailova, E.V., Nikonorov, Yu.M., Chemeris, D.A., Baymiev, Al.Kh., and Chemeris, A.V., CRISPR/Cas genome editing of plants, *Biomics*, 2017a, V.9(3). P. 155-182. (In Russian)
22. Kuluev B.R., Gumerova G.R., Mikhailova E.V., Gerashchenkov G.A., Rozhnova N.A., Vershinina Z.R., Knyazev A.V., Matniyazov R.T., Baymiev An.Kh., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. Delivery of CRISPR/Cas Components into Higher Plant Cells for Genome Editing. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2019. V.66(5). P.694-706. DOI: 10.1134/S102144371905011X
23. Kuluev B.R., Kiryanova O.Yu., Gerashchenkov G.A., Rozhnova N.A., Gumerova G.R., Vershinina Z.R., Matniyazov R.T., Akhmetzyanova L.U., Knyazev A.V., Mikhailova, E.V., Garafutdinov R.R., Baymiev An.Kh., Gubaidullin I.M., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. Some novelties in CRISPR/Cas genome editing and related areas. *Biomics*. 2019a. V. 11(3). P. 315-343. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-27
24. Kuluev B.R., Knyazev A.V., Chemeris A.V. Activity of promoters of carnation etched ring virus and dahlia mosaic virus in tobacco protoplasts and transgenic plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2008. V.55(5). P.687-693. (In Russian)
25. Kuluev B.R., Knyazev A.V., Lebedev Y.P., Iljassowa A.A., Chemeris A.V. Construction of hybrid promoters of caulimoviruses and analysis of their activity in transgenic plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2010. V.57(4). P. 582-589. (In Russian)
26. Mallick S, Li H, Lipson M, Mathieson I, Gymrek M, Racimo F, Zhao M, Chennagiri N, Nordenfelt S, Tandon A, Skoglund P, Lazaridis I, Sankararaman S, Fu Q, Rohland N, Renaud G, Erlich Y, Willems T, Gallo C, Spence JP, Song YS, Poletti G, Balloux F, van Driem G, de Knijff P, Romero IG, Jha AR, Behar DM, Bravi CM, Capelli C, Hervig T, Moreno-Estrada A, Posukh OL, Balanovska E, Balanovsky O, Karachanak-Yankova S, Sahakyan H, Toncheva D, Yepiskoposyan L, Tyler-Smith C, Xue Y, Abdullah MS, Ruiz-Linares A, Beall CM, Di Rienzo A, Jeong C, Starikovskaya EB, Metspalu E, Parik J, Villems R, Henn BM, Hodoglugil U, Mahley R, Sajantila A, Stamatoyannopoulos G, Wee JT, **Khusainova R, Khusnutdinova E, Litvinov S**, Ayodo G, Comas D, Hammer MF, Kivisild T, Klitz W, Winkler CA, Labuda D, Bamshad M, Jorde LB, Tishkoff SA, Watkins WS, Metspalu M, Dryomov S, Sukernik R, Singh L, Thangaraj K, Pääbo S, Kelso J, Patterson N, Reich D. The Simons Genome Diversity Project: 300 genomes from 142 diverse populations // *Nature*. 2016. V.538(7624). P.201-206. doi: 10.1038/nature18964

27. Miescher F. Ueber die chemische Zusammensetzung der Eiterzellen. *Medicinish-chemische Untersuchungen*. 1871. V.4. P. 441–460.
28. Sudmant PH, Mallick S, Nelson BJ, Hormozdiari F, Krumm N, Huddleston J, Coe BP, Baker C, Nordenfelt S, Bamshad M, Jorde LB, Posukh OL, Sahakyan H, Watkins WS, Yepiskoposyan L, Abdullah MS, Bravi CM, Capelli C, Hervig T, Wee JT, Tyler-Smith C, van Driem G, Romero IG, Jha AR, Karachanak-Yankova S, Toncheva D, Comas D, Henn B, Kivisild T, Ruiz-Linares A, Sajantila A, Metspalu E, Parik J, Villems R, Starikovskaya EB, Ayodo G, Beall CM, Di Rienzo A, Hammer MF, **Khusainova R**, **Khusnutdinova E**, Klitz W, Winkler C, Labuda D, Metspalu M, Tishkoff SA, Dryomov S, Sukernik R, Patterson N, Reich D, Eichler EE. Global diversity, population stratification, and selection of human copy-number variation // *Science*. 2015. V349(6253). aab3761. doi: 10.1126/science.aab3761
29. Sakhabutdinova A.R., Mikhailenko K.I., Garafutdinov R.R., Sagitova M.A., Sagitov A.M., Chemeris A.V. Non-biological application of DNA molecules. *Biomics*. 2019. V.11(3). P. 344-377. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019-28 (In Russian)
30. Vershinina Z.R., Kuluev B.R., Gerashchenkov G.A., Knyazev A.V., Chemeris D.A., Gumerova G.R., Baymiev Al.Kh., Chemeris A.V. Evolution of methods for genome editing. *Biomics*. 2017. V.9(3). P. 245-270. (In Russian)
31. Yunusbaev U.B., Kaskinova M.D., Ilyasov R.A., Gaifullina L.R., Saltykova E.S., Nikolenko A.G. The Role of Whole-genome Research in the Study of Honey Bee Biology. *Russian Journal of Genetics*. 2019. V.55(7). P.778-787. DOI: 10.1134/S0016675819060201 (In Russian)