

ԹԵՄԱՅԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ԸՆԹԱՑՔԸ ԵՎ ԶԵՌՔԵՐՈՒՄՆԵՐԸ

Ցիտոգենոմիկայի լաբորատորիայի ստեղծման գործընթացը՝ նախագծի երկրորդ տարին

2024թ.-ի դեկտեմբերին վերջնականապես ավարտվեց լաբորատորիան մանրադիտակներով համալրելու գործընթացը:

1. Լաբորատորիայի աշխատակիցները 2025 թվականին յուրացրեցին և սկեցին աշխատել Zeiss Axio Imager A2 նոր մանրադիտակի վրա, ինչպես նաև սովորեցին կիրառել Zen համակարգչային ծրագիրը:

2. Հետագայում էլեկտրոնային մանրադիտման համար նմուշների պատրաստման նպատակով ձեռք են բերվել լրացուցիչ լուսային մանրադիտակներ:

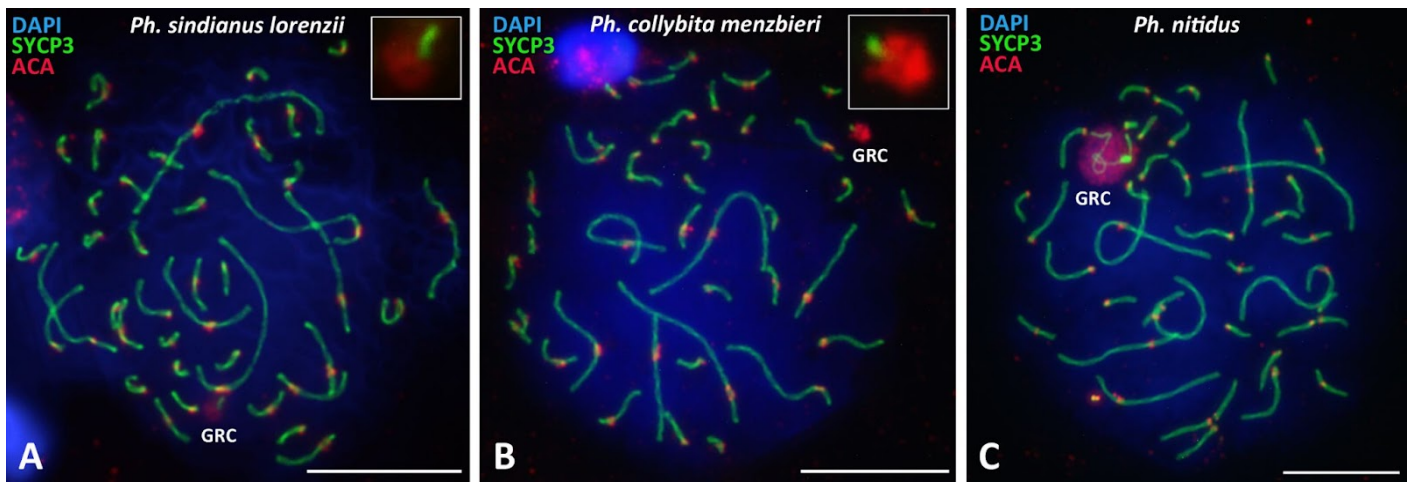
3. Լաբորատորիայում աշխատանքներ է իրականացվում է մեծ թվով պատրաստուկների հետ՝ ստացված տարատեսակ կենդանական խմբերից՝ կաթնասուններ (կրծողներ, գիշատիչներ), թռչուններ, սողուններ և միջատներ:

4. Կրիոպրոտեկտորների կիրառմամբ մշակվել է սեռական բջիջների նմուշների սառցման և երկարատև պահպանման մեթոդ:

5. Իրականացվում է ցենտրիֆուգի գնում, ինչպես նաև լամինարի՝ ստերիլ բոքսում տեղադրելու նպատակով:

6. Իրականացվում է լրացուցիչ սառցարանների գնումներ, քանի որ պահեստում պահպանվող նմուշների քանակը աճում է:

I. *Phylloscopus* ցեղին պատկանող 3 տեսակի թռչունների մոտ սեռական բջիջներով սահմանազատված քրոմոսոմների փոփոխականությունը և մորֆոլոգիական առանձնահատկությունները.

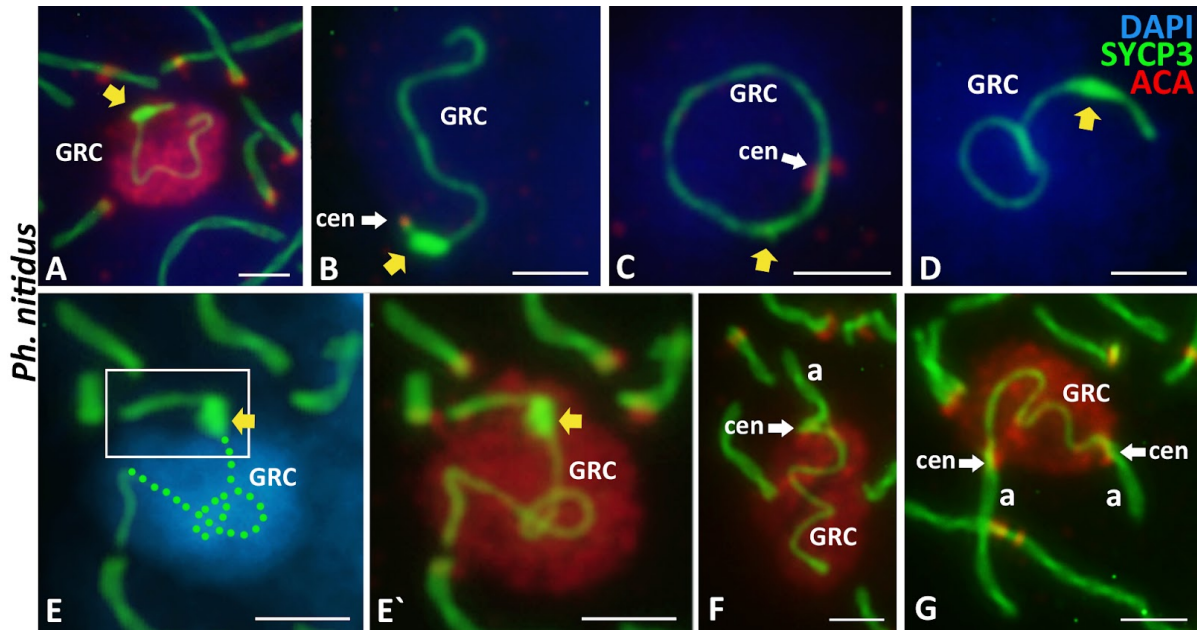


Նկար 1. Երեք տեսակի թռչունների GRC-ները: Նկարը վերցված է հոդվածից (Ayvazyan et al., 2025):

Սեռական բջիջներով սահմանազատված քրոմոսոմները (GRC) բացահայտվել են վերջին տարիներին և ուսումնասիրվում են աշխարհի որոշ լաբորատորիաներում: GRC-ներն համարվում են ճնդողկազգիների գենոմի հնագույն մասնիկներ:

Արդյունքներ

2024-2025թթ. մեր կողմից ուսումնասիրվել են Հայաստանում բնակվող 3 մոտ ազգակցական տեսակի թռչունների՝ *Phylloscopus*: *Ph. sindianus lorenzii*, *Ph. collybita menzbieri* և *Ph. nitidus*-ի GRC-ները: Մեզ հաջողվեց ուսումնասիրել macro-GRC-ների մորֆոլոգիական փոփոխությունները՝ մեյոզի պրոֆազ I-ի լեպտոտենից դիպլոտեն փուլերում և նկարագրել վերջինիս բարդ կառուցվածքը *Ph. nitidus*-ի մոտ: Մենք ցույց տվեցինք վերոնշյալ թռչունների մոտ GRC-ների մորֆոլոգիական առանձնահատկությունները և տարբերությունները՝ macro-GRC և micro-GRC:



Նկար 2. *Ph.nitidus*-ի մոտ GRC-ների մորֆոլոգիական բազմազանությունը: Նկարը վերցված է հոդվածից (Ayvazyan et al., 2025):

Հետազոտության արդիականությունը

Գենետիկները GRC-ները համարում են գենոմի շատ արագ փոփոխվող մաս: Մյուս կողմից, դրանց գործառույթը, ինչպես նաև ընդհանուր նախնու գենոմում հայտնվելու մեխանիզմները մնում են անհասկանալի: Ակնհայտ է, որ GRC-ների էվոլյուցիան ավելի լավ հասկանալու համար անհրաժեշտ են իրականացնել մանրամասն համեմատական ուսումնասիրություններ մոդելային խմբերում, որոնք ներառում են մետ ազգակցական տեսակներին: Հատկապես հետաքրքիր է, դիտարկել արդյոք GRC-ները ձեռք են բերել էական տարբերություններ նման մոտ ազգակցական կապ ունեցող տեսակների մոտ: Մենք ներկայացնում են նոր տաքսոնոմիկ խումբ, որը հարմար մոդել կհանդիսանա մոտ ազգակցական տեսակների GRC-ների համեմատական ուսումնասիրությունների համար՝ ինչն էլ հնարավորություն կտա ավելի լավ հասկանալ այս եզակի քրոմոսոմների էվոլյուցիան:

Հետազոտության արդյունքների հիման վրա հրապարակվել է **Karger** հրատարակչության **Cytogenetic and Genome Research** ամսագրում գիտական հոդված՝

Ayvazyan I, Petrosyan R, Khachatrian E, Virabyan L, Abgaryan T, Poghosyan Z, Dombrovskaya Y, Rakovic M, Spangenberg V. Variation and morphological manifestation of

germline restricted chromosomes in three species of leaf warblers of genus *Phylloscopus*. Cytogenetic and Genome Research. 2025. <https://doi.org/10.1159/000545903>

Ինչպես նաև 2 թեզիս՝

1. Ayvazyan I., Khachatryan E., Petrosyan R., Virabyan L., Dombrovskaya Ya., Rakovic M., Spangenberg V. Germline-restricted chromosomes in three species of leaf warblers (genus *Phylloscopus*) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, **2024**, Yerevan, Armenia, P50, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

2. Ayvazyan I., Petrosyan R., Khachatryan E. R., Virabyan L., Dombrovskaya Y., Poghosyan Zh., Raković M., Spangenberg V., Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in closely related species of leaf warblers of genus *Phylloscopus* in Armenia, May 5-8, **2025**, Yerevan, Armenia, Abstract Book of the International Conference on Biodiversity, Conservation, and Climate Change, Poster

Հայաստանի թռչունների մոտ GRC-ների բազմազանության ուսումնասիրությունը հաստատվել է որպես լաբորատորիայի աշխատակից Ի. Այվազյանի ատենախոսության թեմա:

II. *Vipera* ցեղի օձերի թելոմերային կրկնությունների ուսումնասիրությունը՝ ներքրոմոսոմային թելոմերային հատվածների (ITS) ձևավորումը:

Թելոմերները մարդու և կենդանիների գենոմների ամենաուսումնասիրված հատվածներից են: Զրոմոսոմների ծայրերում թելոմերների սովորական տեղակայումից բացի, գիտնականները հայտնաբերել են նաև ներքրոմոսոմային թելոմերային հատվածներ(ITS): ITS-ները համարվում են գենոմի վերադասավորման մարկերներ, սակայն կան մի քանի առաջարկվող մեխանիզմներ թելոմերային կրկնությունների կուտակման վերաբերյալ: Թելոմերների առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունները կարևոր են կենսաբանության տարբեր ոլորտների համար:

Արդյունքներ

2024-2025թթ. մենք կատարել ենք իժերի երեք տեսակների (*Vipers: V. berus, V. nikolskii, V. renardi*) մոտ թելոմերների համեմատական հետազոտություն: Մենք

ուսումնասիրել ենք առաջնային սպերմատոցիտների ներքրոմոսոմային թելոմերային հատվածքները (ITS)՝ պախիտեն փուլի կորիզային մնացորդներում: Բոլոր երեք տեսակների մոտ մենք նկատել ենք շատ անսովոր՝ հինգերորդ քրոմոսոմ, որը պարունակում է միանգամից երկու լրացուցիչ թելոմերային լոկուս: Կարևոր է նշել, որ մենք ցույց ենք տվել երկու ITS-ների միջև կրոսինգովերի հատվածների ձևավորման հնարավորությունը: Հավանաբար, ուսումնասիրած երեք իժերի տեսակները հինգերորդ քրոմոսոմի այդ բարդ կառուցվածքը ստացել են ընդհանուր նախնիներից: Սակայն հետազոտվող տեսակների մոտ այս թելոմերային հատվածների վերափոխումը էվոլյուցիայի ընթացքում տեղի է ունեցել տարբեր եղանակներով: Աշխատանքի արդյունքները հետաքրքիր են մարդու և կենդանիների մոտ թելոմերային արագ էվոլյուցիան հասկանալու համար:

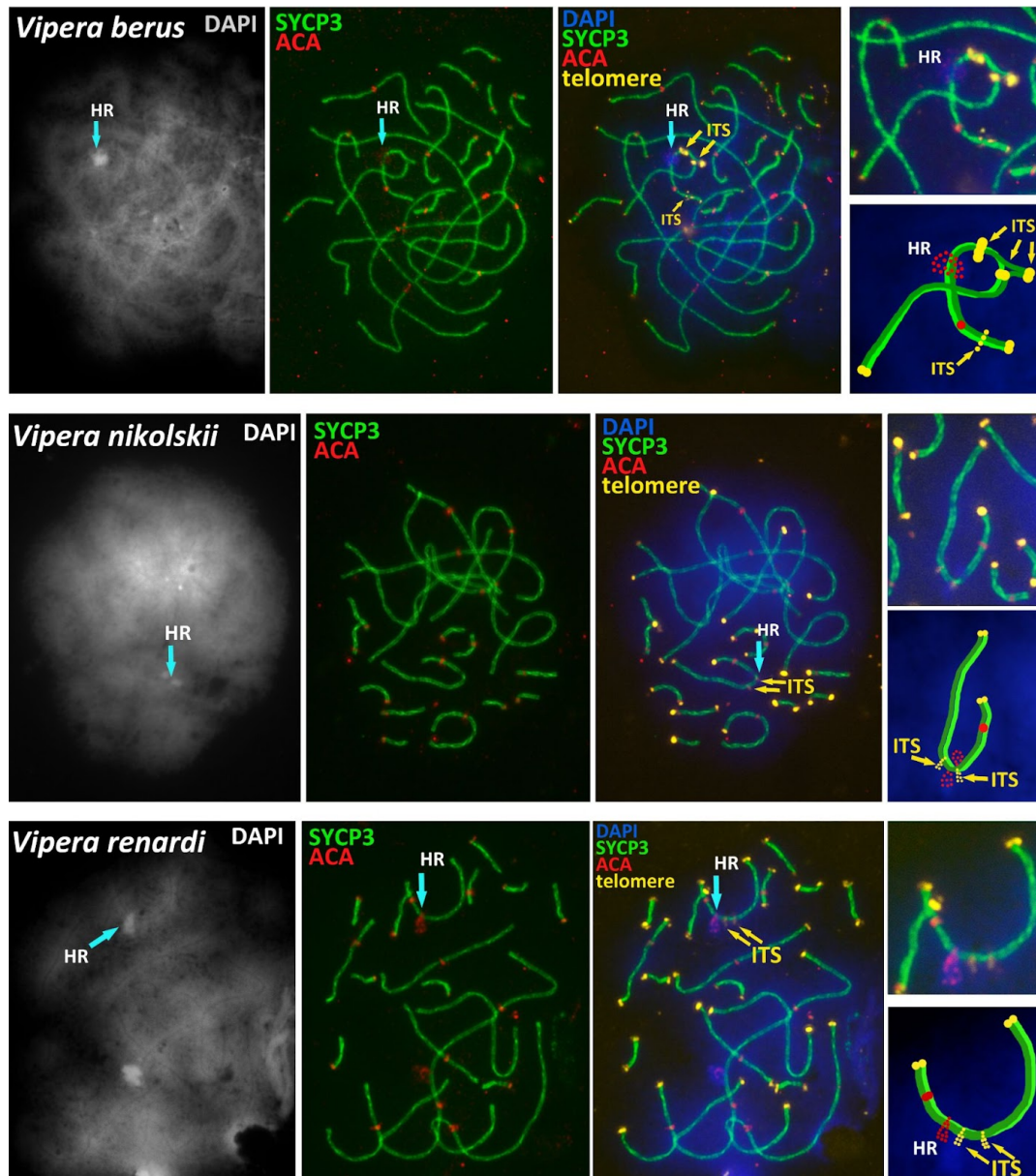
Հետազոտության արդիականությունը

- Գենոմային մարկերների՝ թելոմերների ուսումնասիրության համար հետաքրքրություն է ներկայացնում երեք բավականին երիտասարդ օձերի տեսակների մոդելային խումբը:

- Մեր կողմից առաջին անգամ նկարագրվել է թելոմերային կրկնությունների արագ էվոլյուցիայի արդյունքը *V. berus*, *V. nikolskii*, *V. renardi* իժերի երեք տեսակների խմբում:

- Հետազոտության արդյունքները կարևոր են թելոմերային կրկնությունների հեռացումը կամ կուտակումը հասկանալու համար:

2025 թվականի մարտ ամսին “Telomere puzzle in snakes: adjacent interstitial telomeric sites on chromosome 5 in three species of genus *Vipera*” վերնագրով հոդվածը ներկայացվել է **Springer** հրատարակչության **Protoplasma (Q1)** ամսագրին և ներկայումս վերանայման փուլում է:



Նկար 3. Օձերի երեք տեսակների ITS-ների ներքրոմոսոմային թելոմերային հատվածներ: Ամենաերիտասարդ տեսակի՝ *V. berus*-ի մոտ ITS-ը շատ մեծ է, մինչդեռ ավելի հին տեսակների մոտ ITS-ները գրեթե աննկատ են: Նկարը վերցված է հոդվածից (Spangenberg et al., ներկայացվել է ամսագրին):

III. Հայաստանի տարածքում բնակվող երեք տեսակի օձերի գենետիկական հետազոտություն:

2024–2025 թթ. ընթացքում մենք ստացել ենք երեք տեսակի օձերի՝ մեկ գյուրգայի (*Macrovipera lebetinus*) և երկու իժերի (*Vipera raddei* և *Vipera eriwanensis*) բջջագենետիկական պատրաստուկներ: Գյուրգային վերաբերող առաջին հետազոտություններն իրականացվել են մեր իսկ կողմից 2024 թվականին և բանավոր զեկույցի տեսքով ներկայացվել BIOSEE 2024 միջազգային գիտաժողովին:

Մյուս երկու տեսակների (*V. raddei*, *V. eriwanensis*) ուսումնասիրություններն առայժմ ընթացքի մեջ են: Հետազոտությունների համար կիրառվում են իմունաբջջաքիմիական ներկումներ և telomere FISH (տելոմերային ֆլուորեսցենտային in situ հիբրիդիզացիա) մեթոդները:

Հետազոտության արդիականությունը

1. Գյուրգան և *V. raddei*-ն արտադրում են մարդու և կենդանիների համար ամենավտանգավոր թույները: Վերը նշված տեսակների գենետիկական և ֆիլոգենետիկական ուսումնասիրությունները կարևոր են բժշկական հետազոտությունների՝ հակաթույների մշակման համար:

2. Վերջերս գյուրգան առանձնացվել է *Vipera* ցեղից՝ դասվելով նոր՝ *Macrovipera* ցեղին: Մենք նախատեսում ենք կիրառել մեր հետազոտությունների մեջ օգտագործվող նոր գենետիկական մարկերները այս ցեղերի առանձնացման ճշգրտությունը գնահատելու նպատակով:

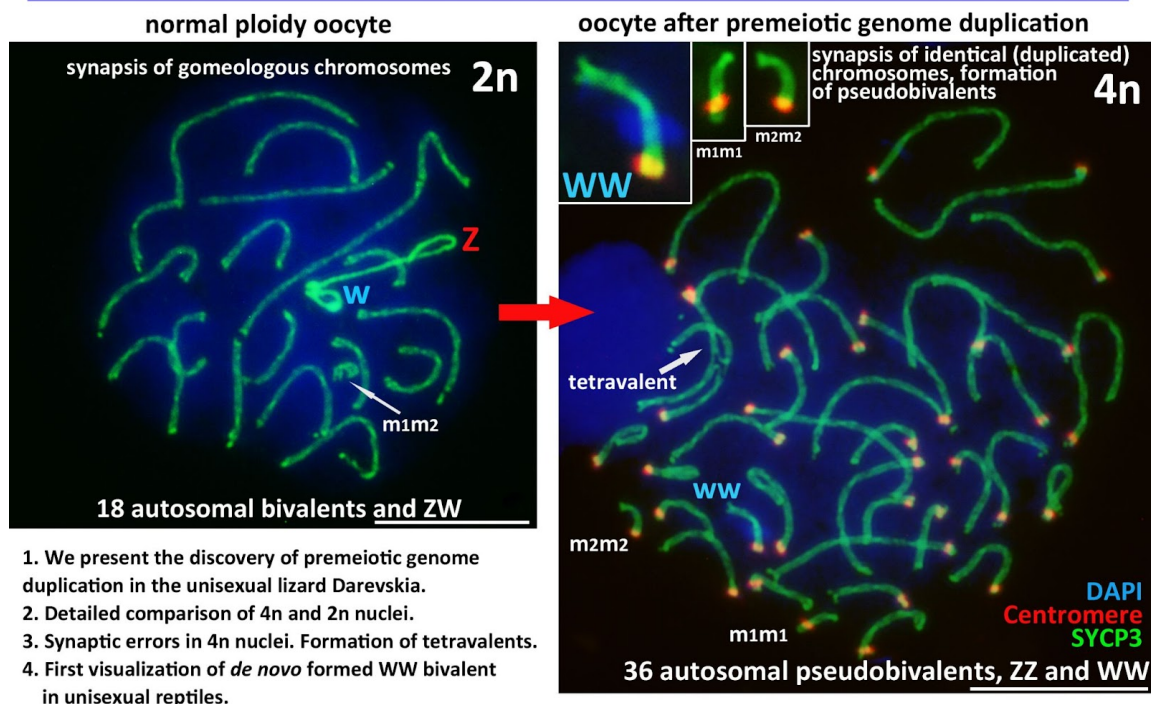
3. ITS-ի (միջբրոմոսոմային թելոմերների) ուսումնասիրությունը մեզ թույլ կտա ընդլայնել օձերի մոդելային խումբը՝ թելոմերային կրկնությունների արագ էվոլյուցիայի հետազոտման նպատակով:

Մոտակա մեկ տարվա ընթացքում երեք տեսակի օձերի ուսումնասիրության արդյունքները կհամալրվեն և կներկայացվեն հոդվածի տեսքով:

IV. *Darevskia* ցեղին պատկանող ժայռային մողեսների օբլիգատ կուսածնության մեխանիզմի ուսումնասիրությունը:

Բնական միասեռ պոպուլյացիաների՝ մասնավորապես կուսածին տեսակների ուսումնասիրությունները առաջ են բերում խնդիրներ, որոնք ուղղակիորեն առնչվում են կենսաբանության մի քանի բնագավառների՝ գենետիկայի, զարգացման կենսաբանության և էվոլյուցիոն կենսաբանության հետ: Վերջին մի քանի տարիների ընթացքում մենք աշխատել ենք բացատրապես էգ առանձնյակներից կազմված յուրահատուկ բնական տեսակների բազմացման մեխանիզմի նուրբ առանձնահատկությունների բացահայտման ուղղությամբ:

Premeiotic genome duplication in the parthenogenetic rock lizards *Darevskia*



We demonstrate remarkable plasticity of oogenesis and, in particular, meiotic prophase I in the parthenogenetic lizard *Darevskia*

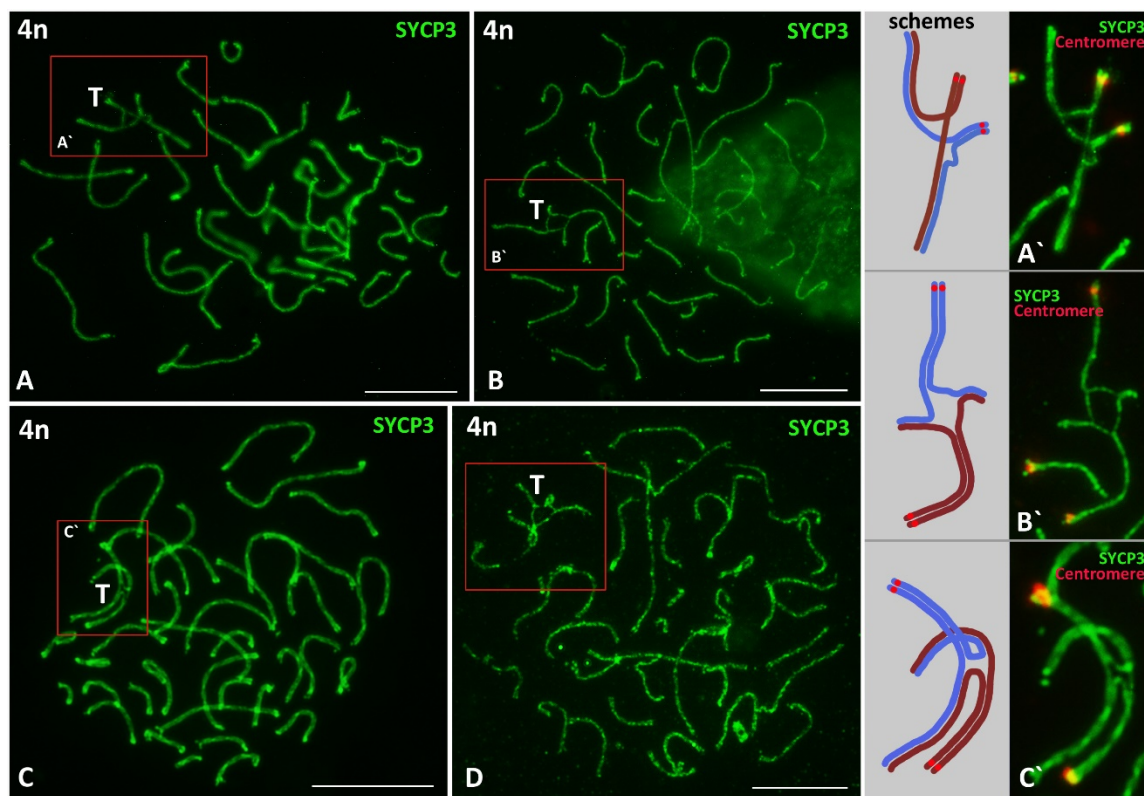
Նկար 4. *Darevskia* ցեղի կուսածին մողեսների գենոմի կրկնապատկման ուսումնասիրությունը: Լուսանկարը վերցված է հոդվածից ([Spangenberg et al., 2025](#)):

Արնդյունքներ

Առաջին անգամ պարզվել և պատկերավոր ներկայացվել է *Darevskia* ցեղի միասեռ մողեսների գենոմի նախամեյոտիկ կրկնապատկման մեխանիզմը: Մենք հայտնաբերել

ենք հազվագյուտ օոցիտներ (ընդհանուր թվի 2%-ից քիչ), որոնցում յուրաքանչյուր քրոմոսոմը կրկնապատկվում է մինչև մեյոզի սկիզբը: Մեյոզի ընթացքում տետրապլոիդ օոցիտի կորիզում կրկնապատկված քրոմոսոմները կոնյուգացվում են հենց իրենց նույնական քրոմոսոմի հետ (մայրական–մայրական, հայրական–հայրական), այլ ոչ թե մայրական–հայրական, ինչպես դա տեղի է ունենում սովորական մեյոզում: Այս մեխանիզմի հետևանքով ապահովվում են մի շարք կարևոր արդյունքներ՝

1. Էգ առանձնյակները կարող են բազմանալ առանց արուների՝ ձևավորելով խոշոր միասեռ պոպուլյացիաներ;
2. Նույնական քրոմոսոմների միջև ռեկոմբինացիան չի հանգեցնում գենների նոր համակցությունների առաջացման;
3. Միասեռ կենդանիների բազմաթիվ սերունդներ գործնականում չեն փոխվում, պահպանելով բնության մեջ գոյատևման համար անհրաժեշտ հետերոզիգոտությունը:



Նկար 5. *Darevskia* ցեղի կուսածին մողեսների տետրապլեյնտների ուսումնասիրությունը գենոմի կրկնապատկամ ընթացքում ([Spangenberg et al., 2025](#)):

Հետազոտության արդիականությունը

Մենք առաջին անգամ պատկերավոր ներկայացրել ենք նախամեյոտիկ գենոմային կրկնապատկման գործընթացի կարևոր մանրամասները՝

1. Կոնյուգացիայի սխալներ պոլիպլոիդ կորիզում, տետրապլենոնների առաջացում;
2. Առաջին անգամ ցույց ենք տվել WW-երկվալենտը (կաթնասունների YY քրոմոսոմների անալոգը);
3. Ցուցադրվել է սողունների մեյոզի բարձր ճկունությունը, որը թույլ է տալիս բազմանալ կուսածնությամբ;
4. Միասեռ պոպուլյացիաների մոտ ցույց է տրվել զարգացման ժամանակ հանախակի անոմալիաների առաջացման հնարավոր պատճառները:

Ուսումնասիրության արդյունքների հիման վրա հրապարակվել է **Oxford Press** հրատարակչության **Biology of Reproduction (Q1)** ամսագրում գիտական հոդված:

Victor Spangenberg, Marine Arakelyan, Sergey A Simanovsky, Yana Dombrovskaya, Emma R Khachatryan, Oxana Kolomiets, [Tendency towards clonality: deviations of meiosis in parthenogenetic Caucasian rock lizards](#), *Biology of Reproduction*, 2025,; ioaf091, <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaf091>

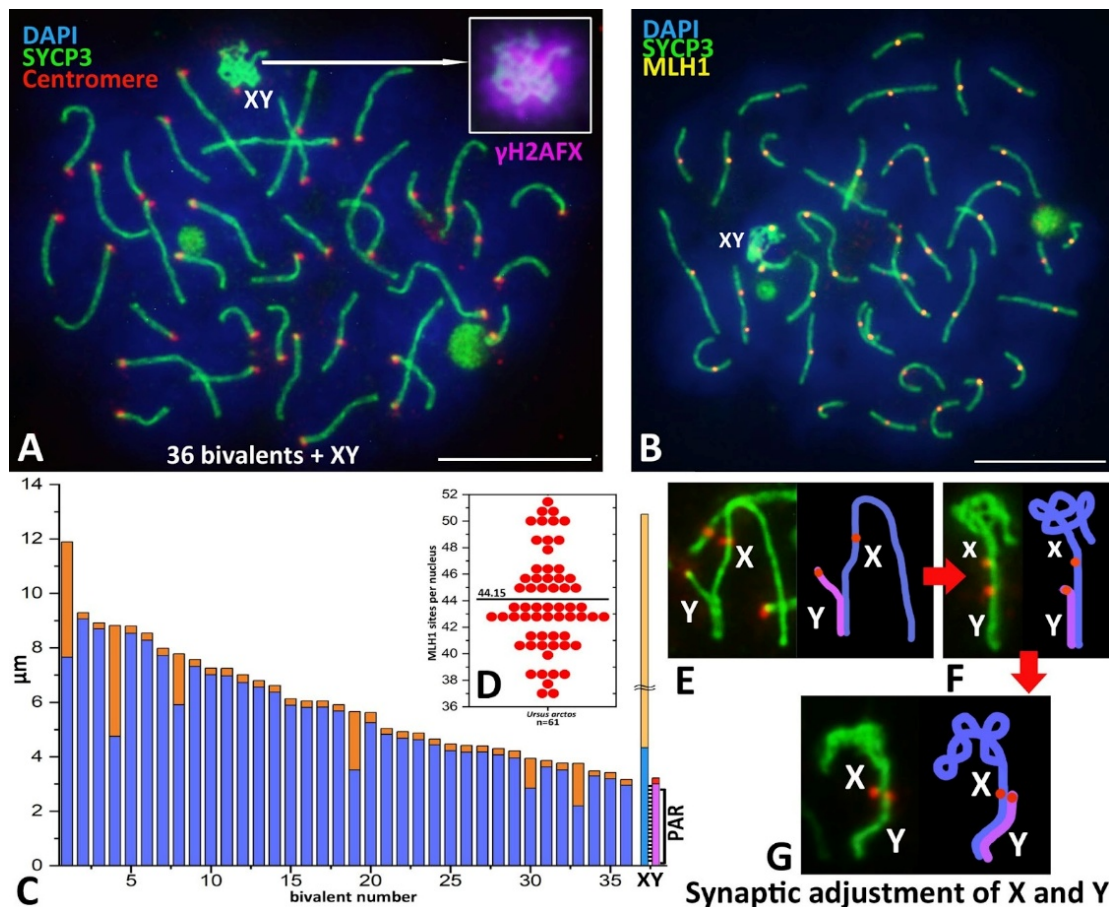
V. *Ursus arctos* գորշ արջի մոտ մեյոզի փուլում քրոմոսոմների առաջին նկարագրությունը: Մեռական բջջում պոլիպլոիդիայի հայտնաբերում:

1989-2024 թվականներին գորշ արջի բջջագենետիկ հետազոտություններ գործնականում չեն իրականացվել: Միաժամանակ այս տեսակի մասին կուտակվել են

էկոլոգիայի և պոպուլյացիոն գենետիկայի, ինչպես նաև վերջին տարիներին գենոմիկայի ոլորտներում տեղեկություններ:

Արդյունքներ

2024-2025 թթ. մենք իրականացրել ենք գորշ արջի մեյոտիկ կարիոտիպի առաջին մանրամասն հետազոտությունը՝ հիմնված սինապտոնեմային համալիրների վերլուծության վրա: Արդյունքում ստացվել են մեյոզի պրոֆազ I-ի հիմնական փուլերի միկրոլուսանկարներ: Վերլուծվել է մեյոտիկ ռեկոմբինացիայի մակարդակը, ինչպես նաև XY սեռական երկվալենտի ստեղծման առանձնահատկությունները մեյոզի պրոֆազ I փուլի ընթացքում: Կառուցվել է սինապտոնեմային կոմպլեքսների կարիոտիպի թարմացված իդեոգրամա: Սինապտոնեմային կոմպլեքսի ֆլուորիսցենտ ազդանշանների հիման վրա կատարվել է կարիոտիպավորում և իդեոգրամների թարմացում:

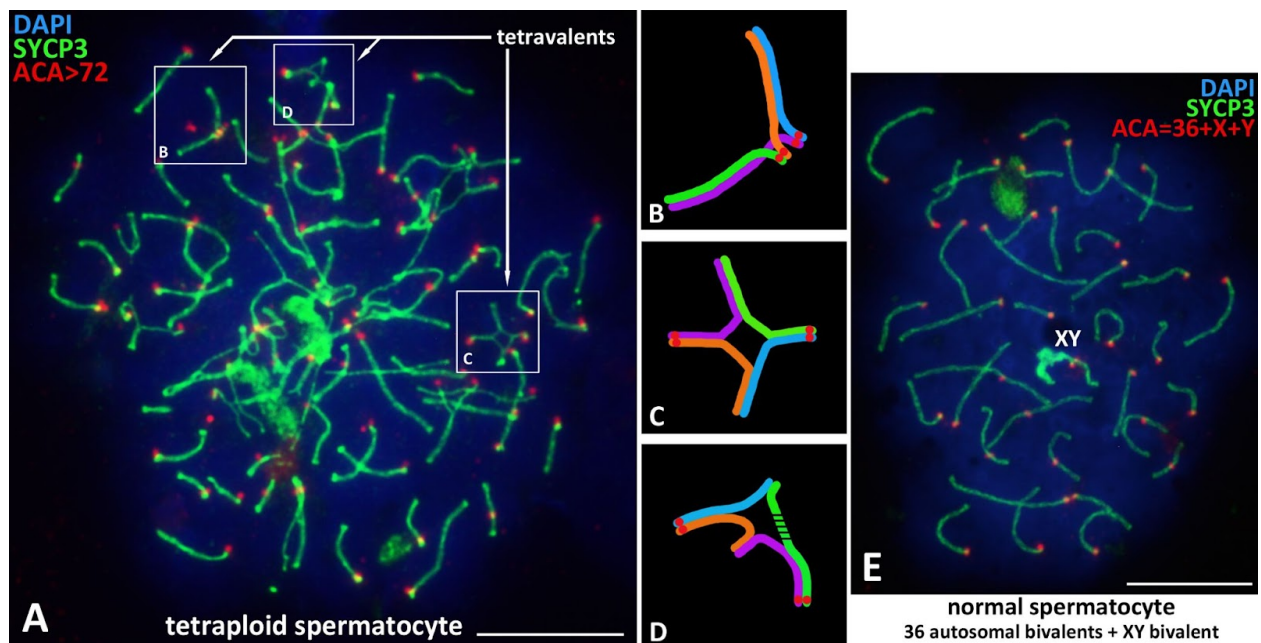


Նկարը 6. Գորշ արջի մեյոզի ընթացքում քրոմոսոմների առաջին մանրամասն հետազոտությունը: Լուսանկարը վերցված է հոդվածից (Virabyan et al., 2025):

Ուսումնասիրության արդիականությունը

Տվյալ հոդվածում մենք զեկուցում ենք կաթնասունների սեռական բջիջներում հազվադեպ բացահայտում՝ գորշ արջի (*Ursus arctos*) գենոմի դուպլիկացիայի արդյունքում առաջացած պոլիպոիդ սպերմատոցիտ: Այս յուրահատուկ կորիզային մնացորդում դիտվել են աուտոտետրապլիդներին բնորոշ մեյոտիկ տետրավալենտներ, որոնք կոնյուգացիոն կոնֆիգուրացիաներ են՝ կազմված հոմոլոգ քրոմոսոմներից և դրանց համապատասխան կրկնապատկված պատճեններից:

Այսպիսի դեպքերի մասին զեկուցումը և տվյալների հավաքագրումը թույլ կտա լայնացնել մարդու ու կենդանիների մոտ ատիպիկ դիպլոիդ գամետների ձևավորման մեխանիզմների մասին ընդհանուր գիտելիքները: Ընդհանուր առմամբ, այս հայտնաբերումը կարևոր նշանակություն ունի ողնաշարավորների մեյոզի դասական սխեմայից շեղումների հնարավորությունները հասկանալու համար:



Նկար 7. Գորշ արջի մոտ տետրապլոիդ բջջի հայտնաբերում: Լուսանկարը վերցված է հոդվածից (Virabyan et al., 2025):

Հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա հրապարակվել է Elsevier հրատարակչության **Reproductive biology (Q1)** ամսագրում գիտական հոդված՝

Virabyan L, Petrosyan R, Ayvazyan I, Khachatryan ER, Dombrovskaya Y, Solovyeva V, Spangenberg V. Polyploidy in germ cell of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia): A case report. *Reproductive Biology*. 2025 Jun 1;25(2):101024. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2025.101024>

Ինչպես նաև գիտաժողովի շրջանակներում մեկ թեզիս՝

Virabyan L., Petrosyan R., Ayvazyan I., Khachatryan E., Dombrovskaya Ya., Solovyeva V., Spangenberg V. Synaptonemal complex karyotyping of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P87, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

2024-2025 թվականների ընթացքում նախագծի շրջանակներում կատարված հրապարակումների ցանկ

2024-2025թթ. հոդվածներ գիտական ամսագրերում

1. Ayvazyan I, Petrosyan R, Khachatryan E, Virabyan L, Abgaryan T, Poghosyan Z, Dombrovskaya Y, Rakovic M, Spangenberg V. Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in three species of leaf warblers of genus *Phylloscopus*. **Cytogenetic and Genome Research**. 2025.

2. Spangenberg V, Arakelyan M, Simanovsky S, Dombrovskaya Y, Khachatryan E, Kolomiets O. Tendency towards clonality: deviations of meiosis in parthenogenetic Caucasian rock lizards. **Biology of Reproduction**, 2025, ioaf091, <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaf091> [Q1]

3. Virabyan L, Petrosyan R, Ayvazyan I, Khachatryan ER, Dombrovskaya Y, Solovyeva V, Spangenberg V. Polyploidy in germ cell of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia): A case report. **Reproductive Biology**. 2025 Jun 1;25(2):101024. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2025.101024> [Q1]

2024-2025թթ. գիտաժողովի շրջանակներում թեզիսներ

1. Stepanyan I., Khachatryan E.R., Kaloyan G., Virabyan L., Redekop I., Spangenberg V. First SC-karyotyping of Levantine Viper *Macrovipera lebetinus* in Armenia. Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P79, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

2. Virabyan L., Petrosyan R., Ayvazyan I., Khachatryan E., Dombrovskaya Ya., Solovyeva V., Spangenberg V. Synaptonemal complex karyotyping of brown bear *Ursus arctos*

(Ursidae, Mammalia) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P87, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

3. Ayvazyan I., Khachatrian E., Petrosyan R., Virabyan L., Dombrovskaya Ya., Rakovic M., Spangenberg V. Germline-restricted chromosomes in three species of leaf warblers (genus *Phylloscopus*) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P50, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

4. Spangenberg V., Tonoyants N. Fluorescence microscopy and methods of studying germline cells. Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P41, ISBN 978-9939-1-1948-9 Oral presentation

5. Редекоп И.В., Спангенберг В.Е. Исследование ядрышкового организатора на микрохромосомах у трех видов гадюк рода *Vipera* // Сборник тезисов 28-й Пущинской школы-конференции молодых ученых с международным участием «БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА» - Пущино – 2025 – С. 110

6. Ayvazyan I., Petrosyan R., Khachatrian E. R., Virabyan L., Dombrovskaya Y., Poghosyan Zh., Raković M., Spangenberg V., Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in closely related species of leaf warblers of genus *Phylloscopus* in Armenia, May 5-8, 2025, Yerevan, Armenia, Abstract Book of the International Conference on Biodiversity, Conservation, and Climate Change, Poster

ПРОЦЕСС РЕАЛИЗАЦИИ ТЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ

Процесс создания лаборатории цитогеномики, второй год проекта.

Оснащение лаборатории микроскопическим оборудованием полностью завершено в декабре 2024 года.

1. В 2025 году сотрудники полностью перешли на работу на новом микроскопе Zeiss Axio Imager A2. Освоили программное обеспечение Zen.
2. Закуплены дополнительные световые микроскопы для пробоподготовки препаратов для последующей электронной микроскопии.
3. В лаборатории проводятся работы с большим количеством препаратов животных из разных групп: млекопитающие (грызуны, хищные), птицы, рептилии, насекомые.
4. Отработана методика заморозки образцов клеток половой линии для длительного хранения с использованием криопротекторов.
5. Проводится закупка центрифуги и ламинара для установки стерильного бокса.
6. Проводится закупка дополнительных морозильных шкафов, т.к. количество образцов в хранилище большое.

Научные исследования и результаты.

II. Изменчивость и морфологическое проявление хромосом, ограниченных зародышевой линией, у трех видов птиц рода *Phylloscopus*.

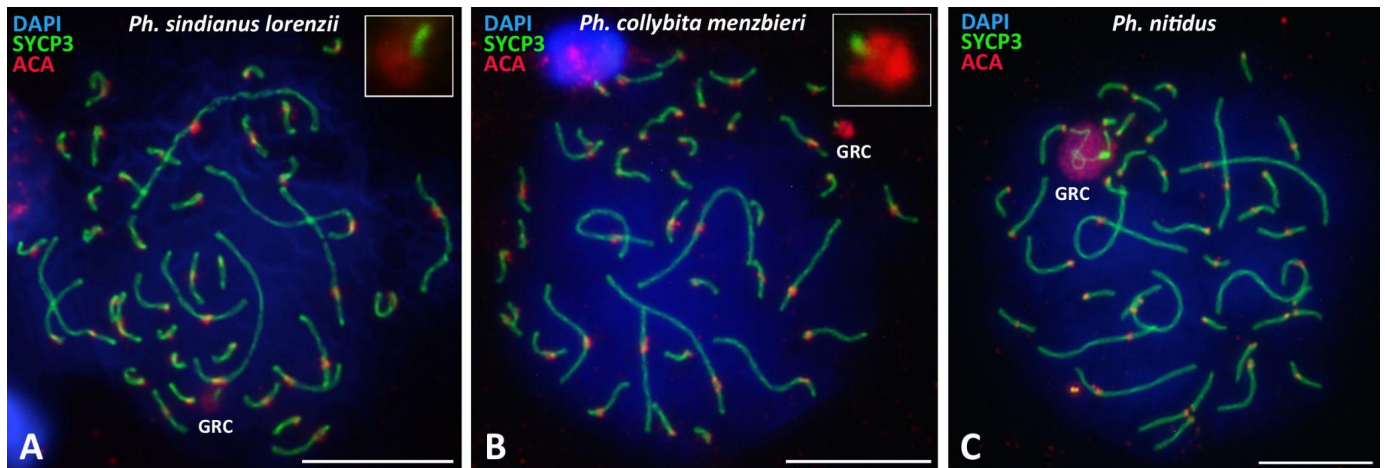


Рисунок 1. GRC у трех видов птиц. Фото из статьи (Ayvazyan et al., 2025).

Хромосомы, ограниченные зародышевой линией (GRC), были недавно открыты и исследуются в лабораториях по всему миру. GRC считаются довольно древним элементом в геномах воробьиных птиц.

Результаты: В нашем исследовании 2024-2025гг мы изучали GRC у трех таксономически близких видов птиц, обитающих в Армении рода *Phylloscopus*: *Ph. sindianus lorenzii*, *Ph. collybita menzbieri* и *Ph. nitidus*. Нам удалось проследить морфологические преобразования макро-GRC на стадиях от лептотены до диплотены и описать сложную структуру этой хромосомы у *Ph. nitidus*. Мы показали, что данные очень близкие виды имеют различия в морфологическом проявлении GRC: макро- и микро-GRC.

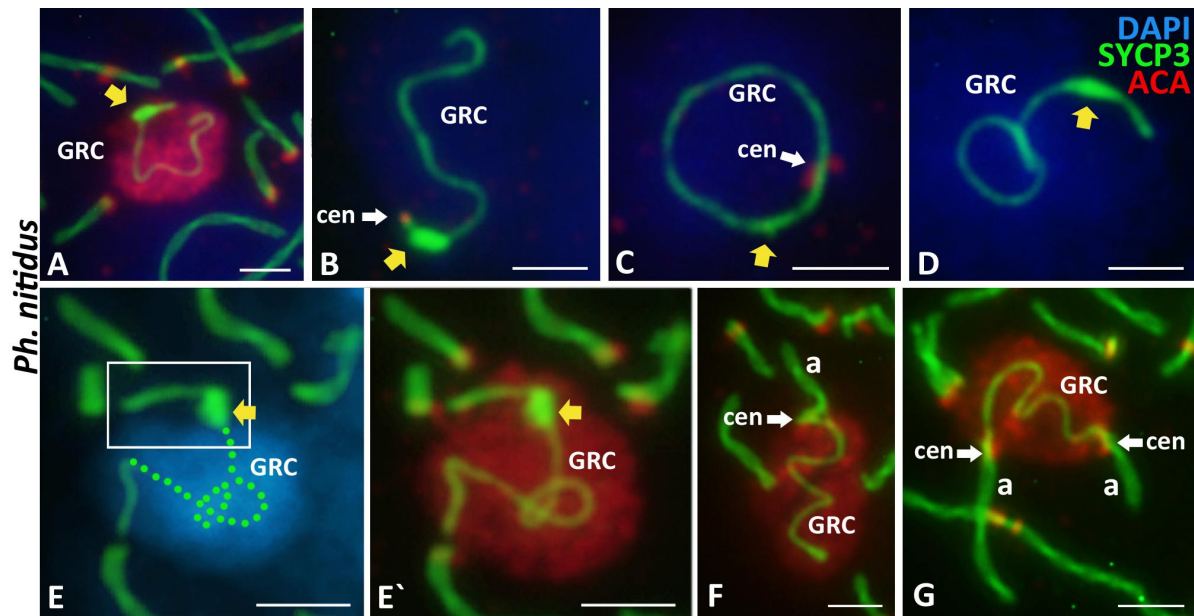


Рисунок 2. Различные варианты морфологии GRC у *Ph. nitidus*. Фото из статьи (Ayvazyan et al., 2025).

Актуальность исследования:

GRC рассматриваются генетиками как очень быстро меняющаяся часть генома. С другой стороны, их функция, а также механизмы появления в геноме общего предка - остаются неясными.

Очевидно, что для лучшего понимания эволюции GRC необходимы подробные сравнительные исследования на модельных группах, включающих близкородственные виды. Особенно интересно, приобрели ли GRC у таких близкородственных видов значительные различия. Мы вводим новую таксономическую группу - удобную модель для сравнительных исследований GRC у близкородственных видов для понимания эволюции этих уникальных хромосом.

По результатам исследования опубликована статья в журнале **Cytogenetic and Genome Research** издательства Karger.

Ayvazyan I, Petrosyan R, Khachatryan E, Virabyan L, Abgaryan T, Poghosyan Z, Dombrovskaya Y, Rakovic M, Spangenberg V. Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in three species of leaf warblers of genus *Phylloscopus*. *Cytogenetic and Genome Research*. 2025.

<https://doi.org/10.1159/000545903>

А также 2 тезисов

Ayvazyan I., Khachatryan E., Petrosyan R., Virabyan L., Dombrovskaya Ya., Rakovic M., Spangenberg V. Germline-restricted chromosomes in three species of leaf warblers (genus *Phylloscopus*) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, **2024**, Yerevan, Armenia, P50, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

Ayvazyan I., Petrosyan R., Khachatryan E. R., Virabyan L., Dombrovskaya Y., Poghosyan Zh., Raković M., Spangenberg V. Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in closely related species of leaf warblers of genus *Phylloscopus* in Armenia, May 5-8, **2025**, Yerevan, Armenia, Abstract Book of the International Conference on Biodiversity, Conservation, and Climate Change, Poster

Исследование разнообразия GRC у птиц в Армении утверждено в качестве темы диссертационной работы сотрудницы лаборатории Айвазян И.С.

II. Исследование теломерных повторов у змей рода *Vipera*, формирование интерстициальных теломерных сайтов (ITS).

Теломеры являются одними из самых изучаемых локусов геномов человека и животных. Кроме обычного расположения теломер на концах хромосом, исследователи обнаруживают теломерные локусы внутри хромосом (ITS). ITS считаются маркерами перестроек генома, однако существует несколько предложенных механизмов аккумуляции теломерных повторов. Исследования особенностей теломер важны для самых различных областей биологии.

Результаты: В 2024-2025 году мы провели сравнительное исследование теломер у трех видов гадюк рода *Vipera*: *V. berus*, *V. nikolskii*, *V. renardi*. Мы изучили интерстициальные теломерные сайты (ITS) в пахитенных ядрах первичных сперматоцитов. У всех трех исследуемых видов мы обнаружили очень необычную хромосому 5, содержащую сразу 2 дополнительных локуса теломер.

Важно отметить, что мы показали возможность образования сайтов кроссинговера между двумя ITS. По-видимому, три изученных вида гадюк получили эту сложную структуру хромосомы 5 от своего общего предка. Однако трансформация этих теломерных сайтов в ходе эволюции у изучаемых видов происходила по-разному.

Результаты работы интересны для понимания быстрой эволюции теломер у животных и человека.

Актуальность исследования:

- Модельная группа из трех достаточно молодых видов змей представляет интерес для исследований геномных маркеров - теломер.
- Мы впервые описали результаты быстрой эволюции теломерных повторов в группе из трех видов гадюк *V. berus*, *V. nikolskii*, *V. renardi*.
- Результаты исследований важны для понимания удаления или накопления теломерных повторов.

Материалы поданы в журнал **Protoplasma (Q1)** издательства **Springer** в марте 2025 года и находятся на стадии рецензии: “Telomere puzzle in snakes: adjacent interstitial telomeric sites on chromosome 5 in three species of genus *Vipera*”.

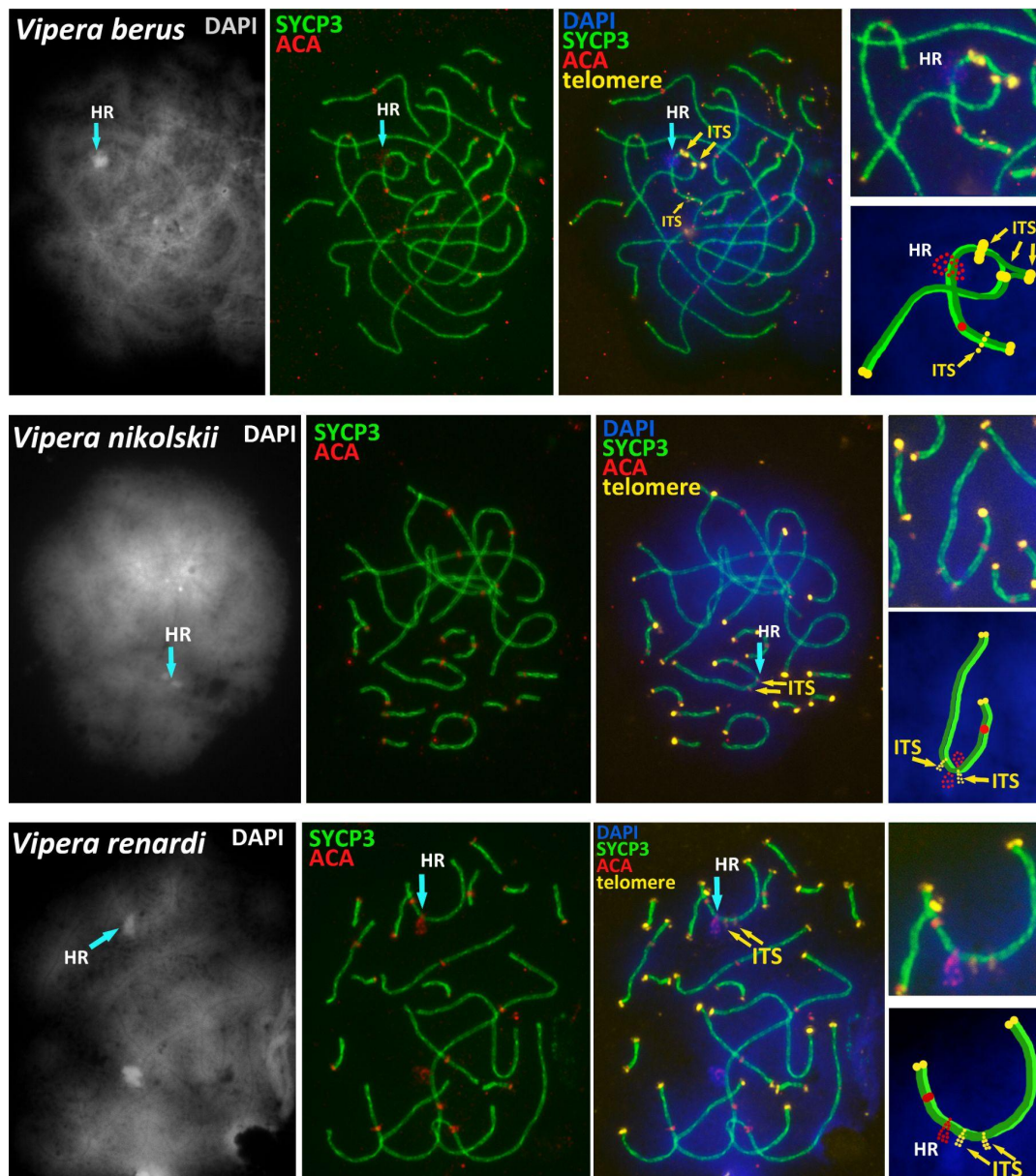


Рисунок 3. ITS - интерстициальные теломерные сайты у трех видов змей. У самого молодого вида *V. berus* ITS очень большого размера, у более древних видов ITS - практически незаметны. Фото из статьи (Spangenberg et al., подано в журнал).

III. Исследование генетики трех видов змей, обитающих на территории Армении.

В 2024-2025 годах мы получили цитогенетические препараты трех видов змей: *Macrovipera lebetinus* (гюрза) и двух видов гадюк *Vipera raddei* и *Vipera eriwanensis*.

Первые исследования гюрзы были проведены нами в 2024 и оформлены в виде доклада на конференции BIOSEE 2024:

Stepanyan I., Khachatryan E.R., Kaloyan G., Virabyan L., Redekop I., Spangenberg V. First SC-karyotyping of Levantine Viper *Macrovipera lebetinus* in Armenia. Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P79, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

Два других вида исследуются нами в настоящее время: иммуноокрашивание и telomere FISH.

Актуальность исследования:

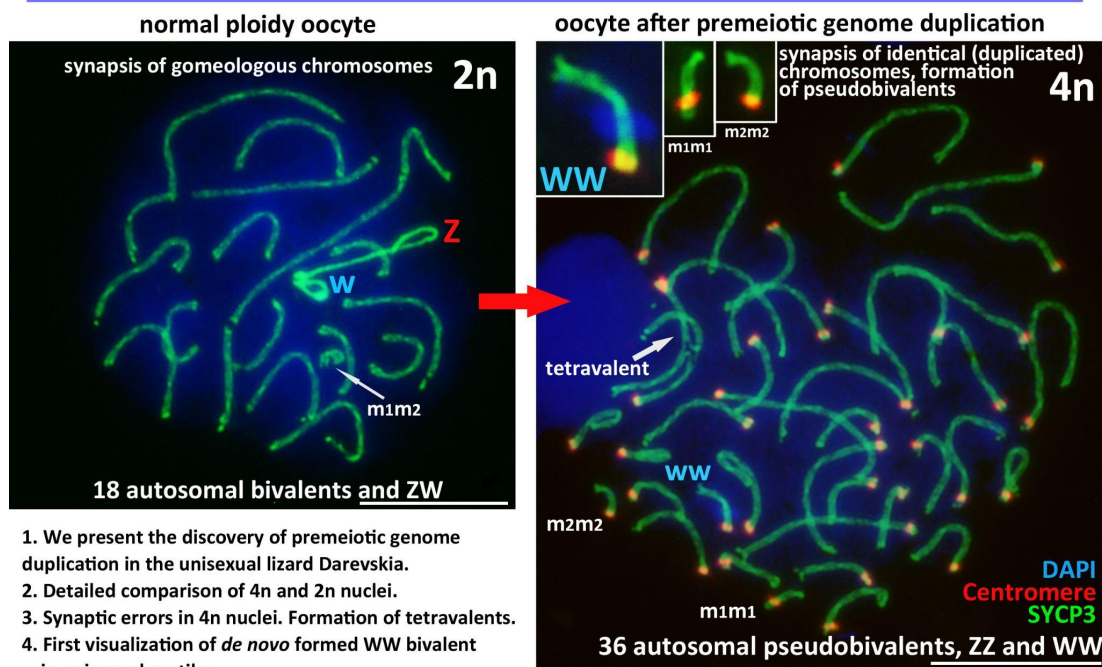
1. Гюрза и *V. raddei* имеют самые опасные для человека и животных токсины. Исследование генетики и филогении данных животных важно для медицинских исследований по получению сывороток.
2. Гюрза некоторое время назад была вынесена из рода *Vipera* в отдельный род *Macrovipera*. Мы планируем использовать наши новые генетические маркеры, которые позволят оценить правильность разделения данных родов.
3. Исследованием ITS (интерстициальных теломер), мы расширим модельную группу для исследования быстрой эволюции теломерных повторов на модели змей.

Результаты будут представлены в виде общей статьи по трем видам в ближайший год.

IV. Исследование механизма облигатного партеногенеза у скальных ящериц рода *Darevskia*.

Природные однополые популяции и партеногенез в частности - очень важная проблема, которая затрагивает сразу несколько разделов биологии: генетику, биологию развития, эволюционную биологию. Последние несколько лет мы работали над проблемой выяснения тонких особенностей механизма размножения уникальных природных видов, состоящих только из самок.

Premeiotic genome duplication in the parthenogenetic rock lizards *Darevskia*



We demonstrate remarkable plasticity of oogenesis and, in particular, meiotic prophase I in the parthenogenetic lizard *Darevskia*

Рисунок 4. Исследование геномной дупликации у партеногенетических видов ящериц рода *Darevskia*. Фото из статьи (Spangenberg et al., 2025).

Результаты: впервые был выяснен и визуализирован механизм предмейотической дупликации генома у однополых видов ящериц *Darevskia*.

Мы обнаружили редкие ооциты (менее 2% от общего числа), в которых каждая хромосома удваивается перед мейозом. В ходе мейоза в тетраплоидном ядре ооцита такие копии хромосом синаптируют между собой (материнская-материнская, отцовская-отцовская), а не материнская-отцовская, как в обычном мейозе. В результате обеспечивается несколько важных эффектов:

1. Самки могут размножаться без самцов, образуя огромные однополые популяции.
2. Рекомбинация между идентичными хромосомами не дает новых комбинаций генов.
3. Множество поколений однополых животных практически не меняются, сохраняя гетерозиготность, важную для выживания в природе.

Актуальность исследования:

Мы впервые визуализировали важные детали данного процесса предмейотической геномной дупликации:

- Ошибки синапсиса в полиплоидном ядре, формирование тетравалентов.
- Впервые визуализировали WW-бивалент (аналог YY у млекопитающих).
- Показана высокая пластичность мейоза у рептилий, которая позволяет реализовывать партеногенез.
- Показаны возможные причины частых аномалий развития у однополых форм.

Результаты исследования опубликованы в журнале **Biology of Reproduction (Q1)** издательства **Oxford Press**.

Victor Spangenberg, Marine Arakelyan, Sergey A Simanovsky, Yana Dombrovskaya, Emma R Khachatryan, Oxana Kolomiets, Tendency towards clonality: deviations of meiosis in parthenogenetic Caucasian rock lizards, *Biology of Reproduction*, 2025; ioaf091, <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaf091>

V. Первое исследование хромосом в мейозе бурого медведя *Ursus arctos*. Обнаружение полиплоидии в клетке половой линии.

Бурый медведь практически не исследовался методами цитогенетики в период 1989-2024 годов. При этом накапливались данные об экологии данного вида, популяционной генетике и в последние годы - геномные данные.

Результаты: В 2024-2025 гг мы провели первое подробное исследование нормального мейотического кариотипа бурого медведя на основе анализа синаптонемных комплексов. Получены микрофотографии ключевых стадий мейотической профазы I. Проанализирован уровень мейотической рекомбинации,

особенности сборки полового бивалента XY во время мейотической профазы I. Построена уточненная идеограмма кариотипа SC.

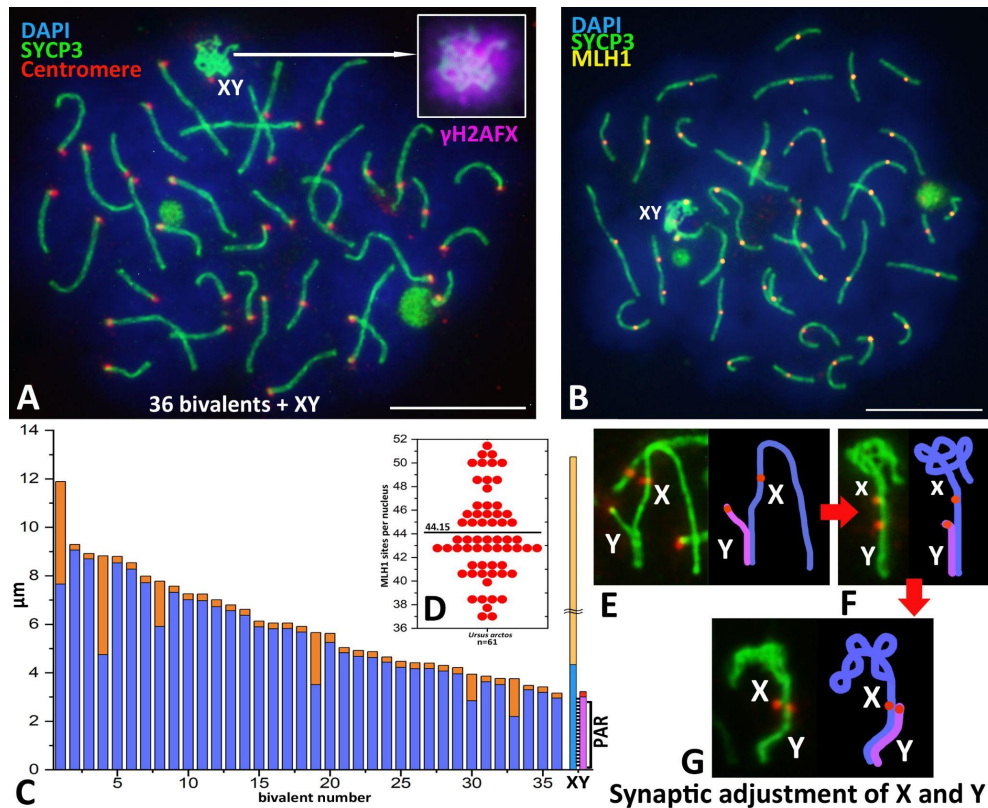


Рисунок 5. Первое детальное исследование хромосом в мейозе бурого медведя. Фото из статьи (Virabyan et al., 2025).

Актуальность исследования:

В данной статье мы сообщаем о редкой находке в зародышевых клетках млекопитающих - полиплоидном сперматоците после дупликации генома у бурого медведя *Ursus arctos*. Мейотические тетраваленты, типичные для аутотетраплоидии, синаптические конфигурации, состоящие из гомологичных хромосом и соответствующих им дублированных копий, были визуализированы в этом уникальном ядре.

Накопление данных о таких случаях позволит получить больше информации о механизмах образования атипичных диплоидных гамет у животных и человека. В целом, данная находка очень важна для понимания возможности отклонений от классической схемы мейоза у млекопитающих.

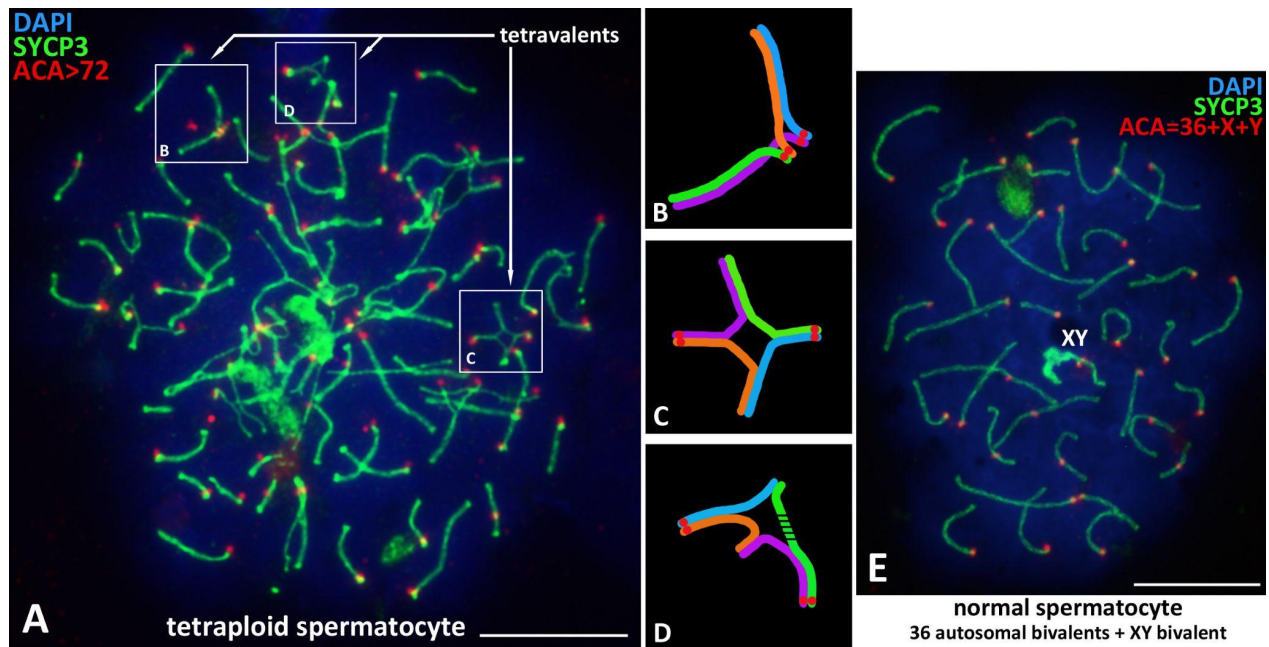


Рисунок 6. Обнаружение тетраплоидной клетки у бурого медведя. Фото из статьи (Virabyan et al., 2025).

По результатам исследования опубликована статья в журнале **Reproductive biology** (Q1) издательства Elsevier.

Virabyan L, Petrosyan R, Ayvazyan I, Khachatrian ER, Dombrovskaya Y, Solovyeva V, Spangenberg V. Polyploidy in germ cell of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia): A case report. *Reproductive Biology*. 2025 Jun 1;25(2):101024.

<https://doi.org/10.1016/j.repbio.2025.101024>

Тезисы конференции.

Virabyan L., Petrosyan R., Ayvazyan I., Khachatrian E., Dombrovskaya Ya., Solovyeva V., Spangenberg V. Synaptonemal complex karyotyping of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P87, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

Список публикаций за 2024-2025 год работы по проекту

Статьи в журналах 2024-2025:

1. Ayvazyan I, Petrosyan R, Khachatrian E, Virabyan L, Abgaryan T, Poghosyan Z, Dombrovskaya Y, Rakovic M, Spangenberg V. Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in three species of leaf warblers of genus *Phylloscopus*. Cytogenetic and Genome Research. 2025. <https://doi.org/10.1159/000545903>
2. Spangenberg V, Arakelyan M, Simanovsky S, Dombrovskaya Y, Khachatryan E, Kolomiets O. Tendency towards clonality: deviations of meiosis in parthenogenetic Caucasian rock lizards. Biology of Reproduction, 2025, ioaf091, <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaf091> [Q1]
3. Virabyan L, Petrosyan R, Ayvazyan I, Khachatrian ER, Dombrovskaya Y, Solovyeva V, Spangenberg V. Polyploidy in germ cell of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia): A case report. Reproductive Biology. 2025 Jun 1;25(2):101024. <https://doi.org/10.1016/j.repbio.2025.101024> [Q1]

Тезисы конференций 2024-2025:

1. Stepanyan I., Khachatrian E.R., Kaloyan G., Virabyan L., Redekop I., Spangenberg V. First SC-karyotyping of Levantine Viper *Macrovipera lebetinus* in Armenia. Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P79, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster
2. Virabyan L., Petrosyan R., Ayvazyan I., Khachatrian E., Dombrovskaya Ya., Solovyeva V., Spangenberg V. Synaptonemal complex karyotyping of brown bear *Ursus arctos* (Ursidae, Mammalia) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P87, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

3. Ayvazyan I., Khachatryan E., Petrosyan R., Virabyan L., Dombrovskaya Ya., Rakovic M., Spangenberg V. Germline-restricted chromosomes in three species of leaf warblers (genus *Phylloscopus*) Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P50, ISBN 978-9939-1-1948-9, Poster

4. Spangenberg V., Tonoyants N. Fluorescence microscopy and methods of studying germline cells. Proceedings of BIOSEE annual meeting 2024, November 4-6, Yerevan, Armenia, P41, ISBN 978-9939-1-1948-9 Oral presentation

5. Редекон И.В., Спангенберг В.Е. Исследование ядрышкового организатора на микрохромосомах у трех видов гадюк рода *Vipera* // Сборник тезисов 28-й Пущинской школы-конференции молодых ученых с международным участием «БИОЛОГИЯ – НАУКА XXI ВЕКА» - Пущино – 2025 – С. 110

6. Ayvazyan I., Petrosyan R., Khachatryan E. R., Virabyan L., Dombrovskaya Y., Poghosyan Zh., Raković M., Spangenberg V., Variation and morphological manifestation of germline restricted chromosomes in closely related species of leaf warblers of genus *Phylloscopus* in Armenia, May 5-8, 2025, Yerevan, Armenia, Abstract Book of the International Conference on Biodiversity, Conservation, and Climate Change, Poster