Генетические и эволюционные первопричины фенотипических вариаций у тихоокеанских лососей информируют охрану и управление этими ресурсами

Майкл Миллер
доцент, генетик

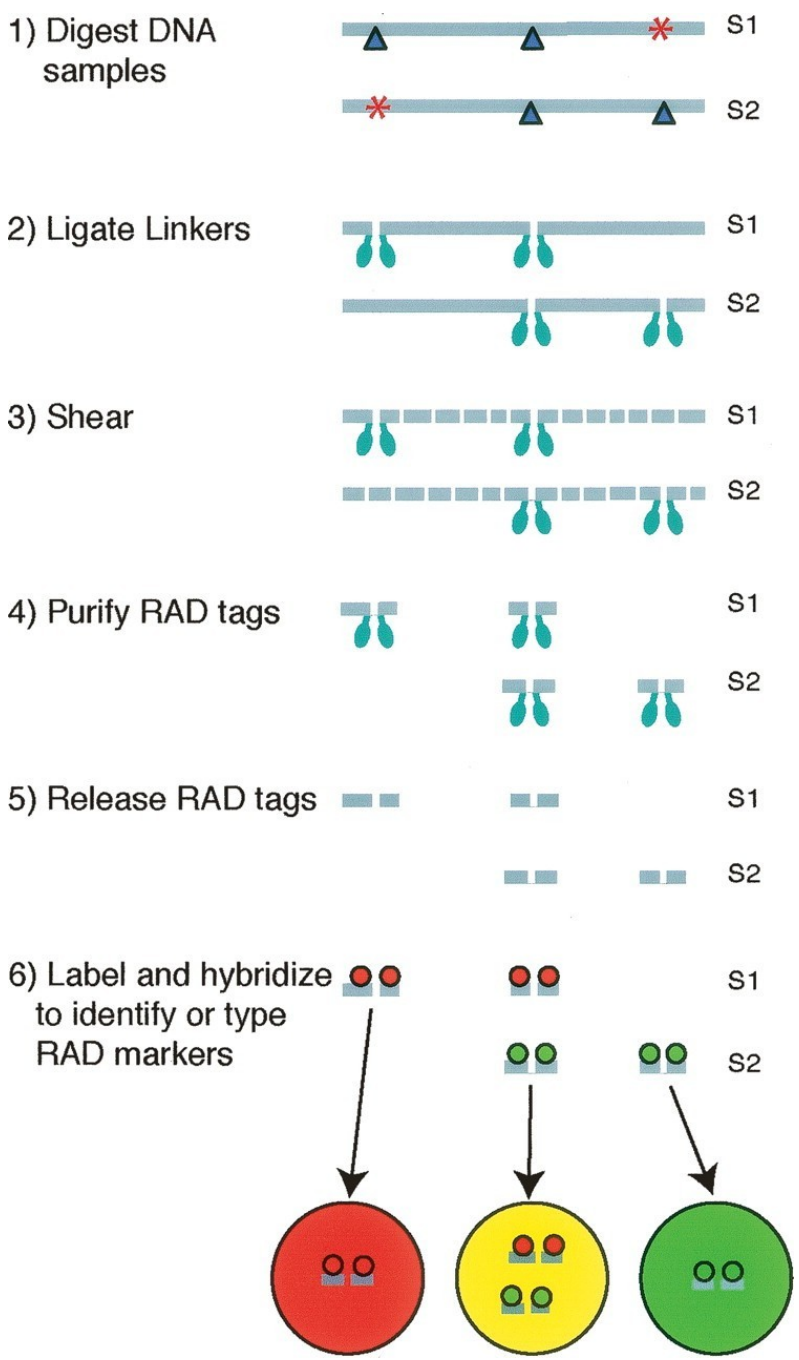
UC DAVIS
DEPARTMENT OF ANIMAL SCIENCE

Геномика позволяет исследовать генетические и эволюционные основы естественных фенотипических вариаций

“Последние сто лет дали нам много знаний о генетических основах [фенотипических вариаций] на примере горстки модельных организмов. В дополнение к этому, существует большое число фенотипических вариаций в удивительном разнообразии миллионов видов за пределами наших лабораторий, генетические основы которых мало исследованы. Методы, способствующие быстрой идентификации генов, лежащих в основе… естественных фенотипических вариаций, помогают более глубокому осмыслению многих биологических процессов.”

Miller *et al.* 2007 *Genome Res.*

Геномика позволяет исследовать генетические и эволюционные основы естественных фенотипических вариаций.

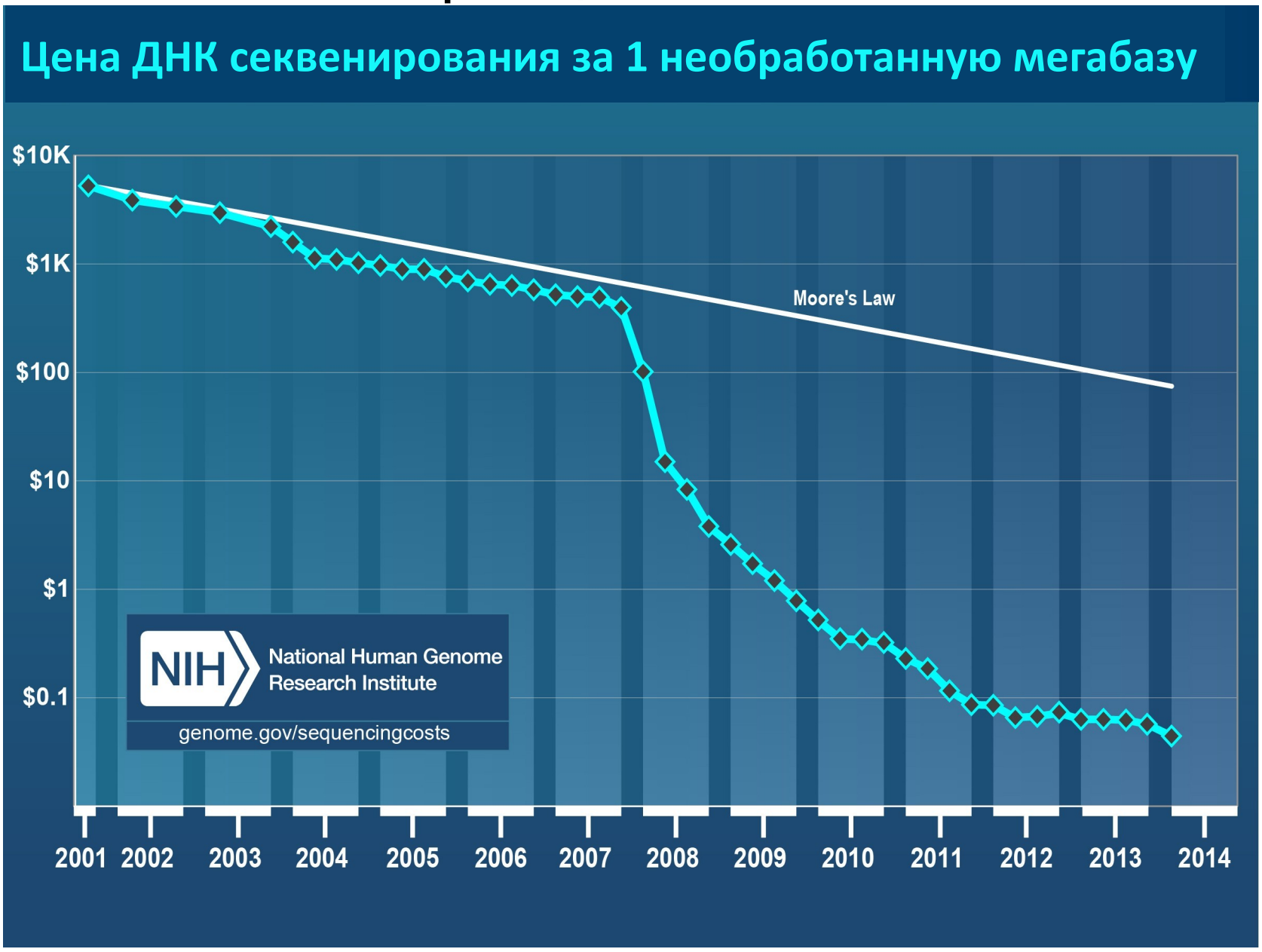


1) Рестрикция ДНК проб
2) Лигирование фрагментов
3) Рассечение
4) Очистка RAD маркёров
5) Высвобождение RAD маркеров
6) Маркировка или гибридизация в целях опознания RAD маркеров

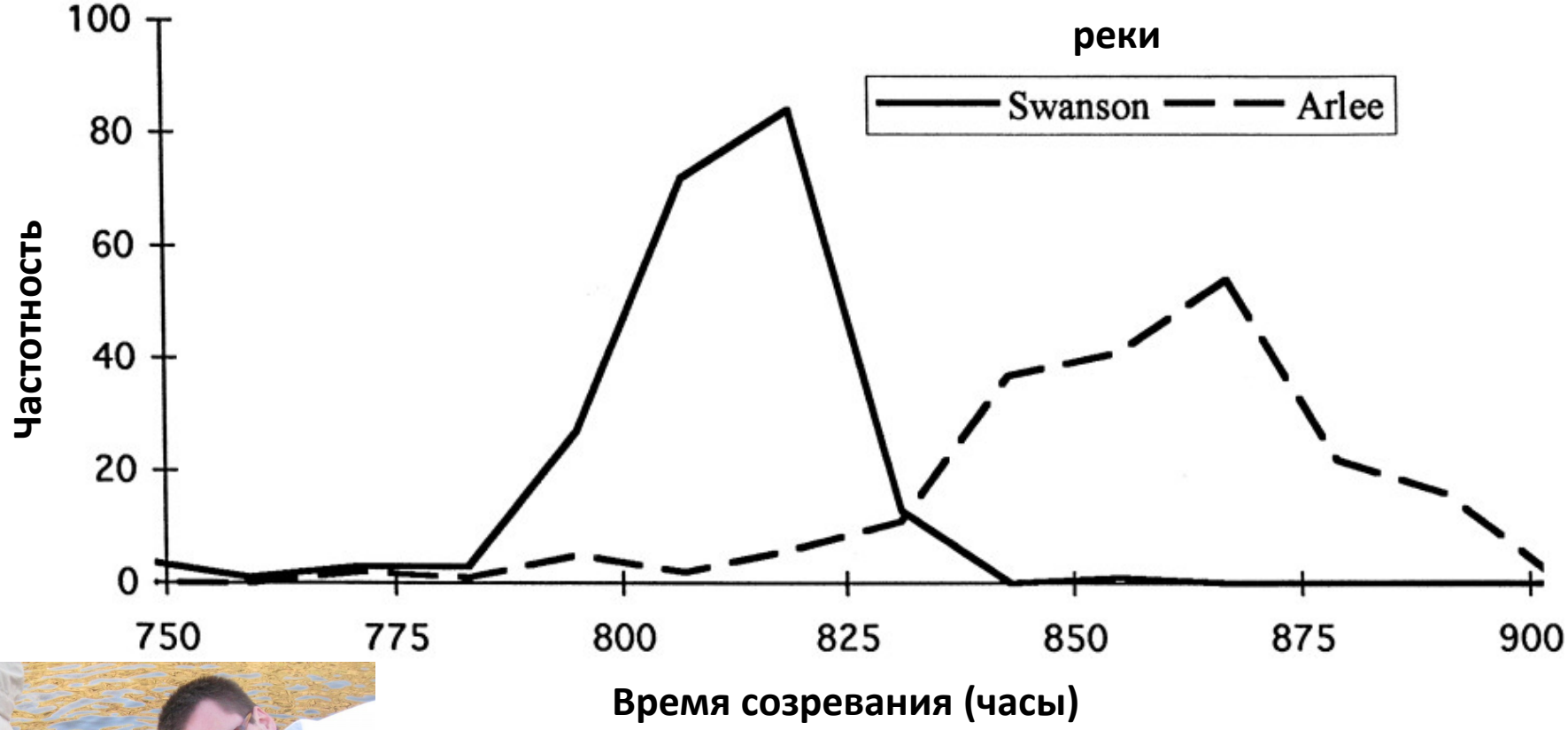
Miller *et al.* 2007 *Genome Res.*

Геномика позволяет исследовать генетические и эволюционные основы естественных фенотипических вариаций.

.

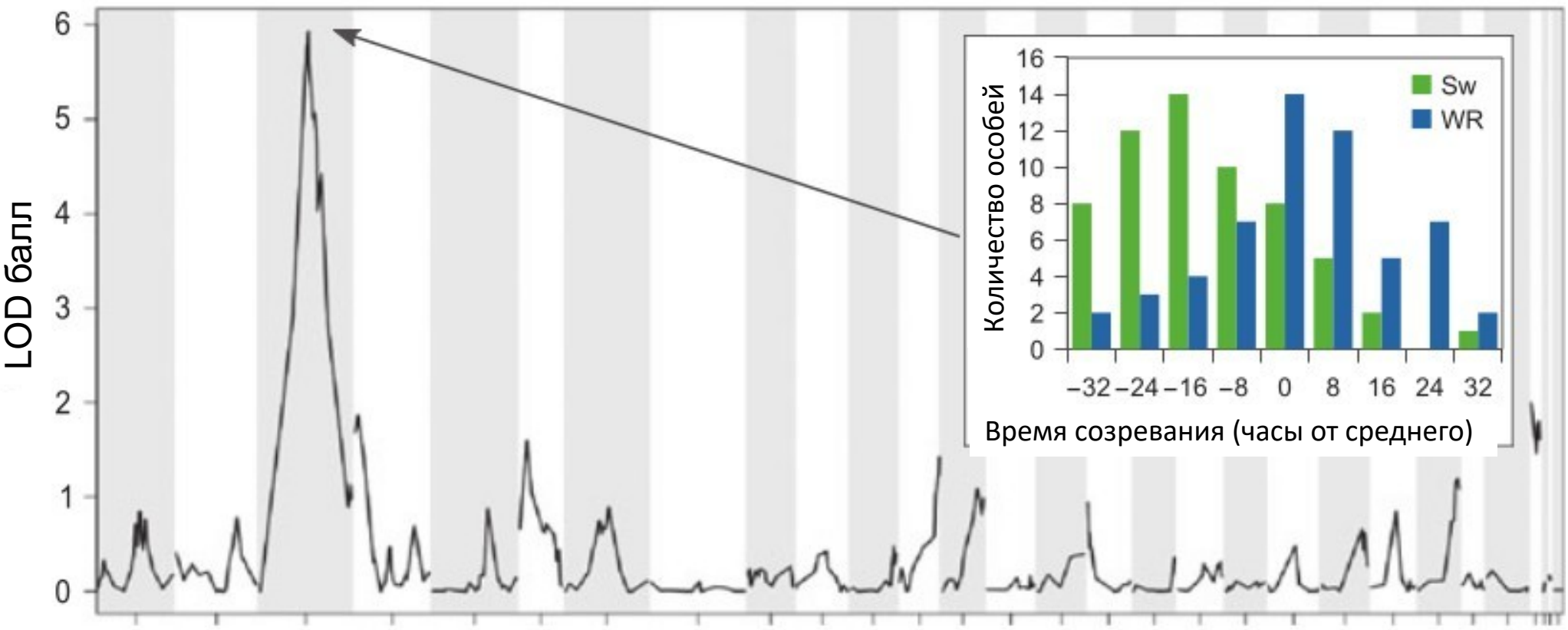


Моё первое геномное исследование на лососе было посвящено изучению вариаций в темпах созревания радужной форели



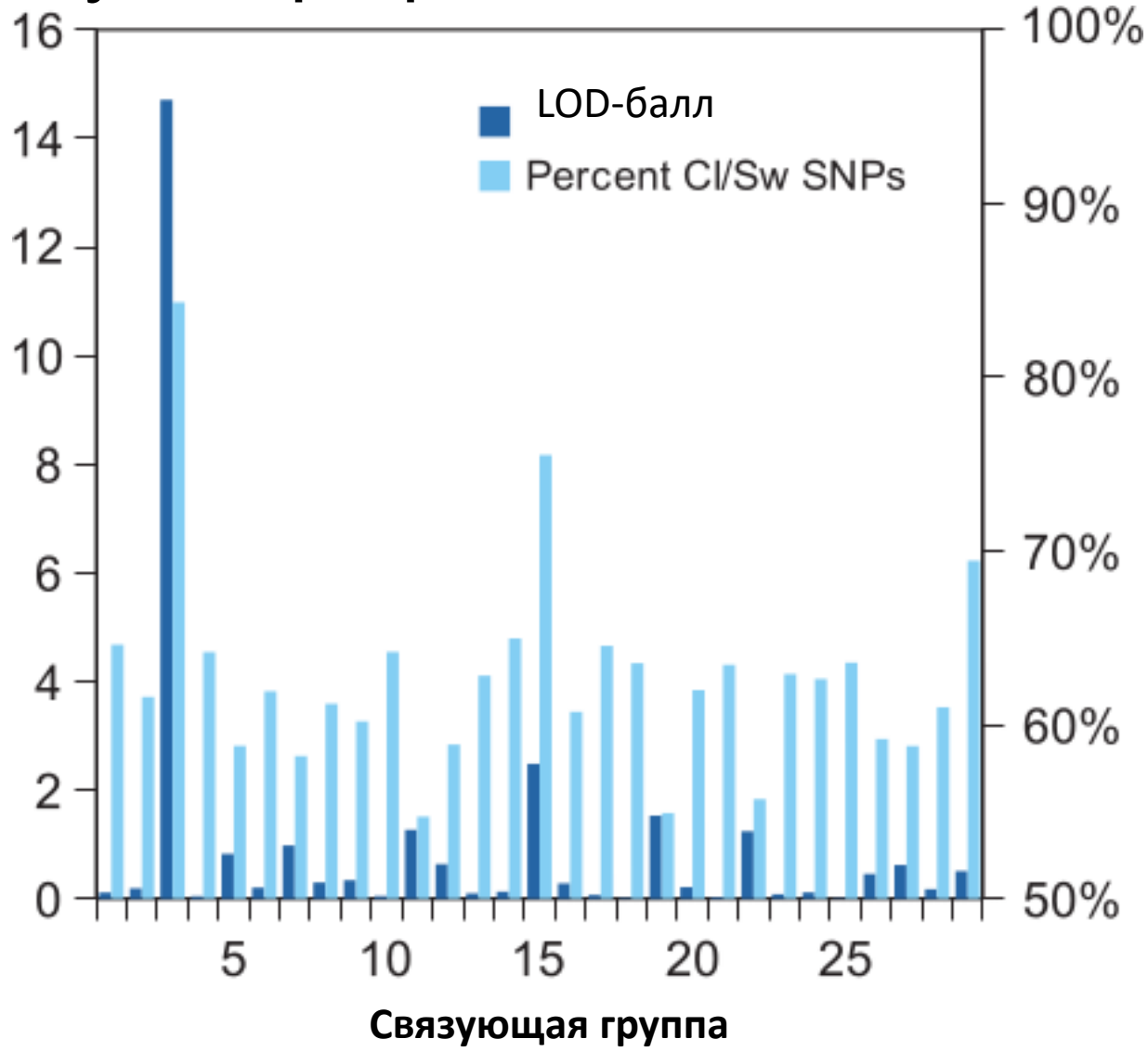
Robison *et al.*1999 *Aquaculture*

Нами обнаружен отдельный локус темпов созревания на хромосоме 5.



Miller *et al.* 2012 *Mol. Ecology*

Сохранённый гаплотип ответственен за быстрый темп созревания у географически отдалённых популяций.



Miller *et al.* 2012 *Mol. Ecology*

Мы предсказали, что такой эволюционный механизм является универсальным и обсудили его значимость для природоохраны.

“Параллельная адаптация является универсальной [у тихоокеанских лососей] с такими классическими примерами как литоральный и ручьевой нерест у нерки и разница во времени возврата на нерест у чавычи и стальноголового лосося. ... На основе полученных нами результатов и том факте, что анадромность может способствовать переносу генетического материала на большие расстояния, мы предполагаем, что в большинстве своём параллельная адаптация у анадромных лососей будет достигаться посредством многократного использования одних и тех же адаптивных аллелей... Эту гипотезу можно легко проверить используя геномные технологии похожие на представленные здесь примеры.”

Miller *et al.* 2012 *Mol. Ecology*

Мы предсказали, что такой эволюционный механизм является универсальным и обсудили его значимость для природоохраны.

“Многократное использование адаптивных генетических вариаций в удалённых географических зонах также подчёркивает важность сохранения популяционного разнообразия у видов ради будущей способности к адаптации у этих видов. Отдельные популяции могут служить хранилищами аллелей, которые будут полезны для успешной адаптации других популяций в случае изменений в окружающей среде. Например, южные популяции, возможно, содержат аллели, ответственные за адаптацию к более тёплому климату и эти аллели могли бы быть [применены] более северными популяциями по мере повышения температур. К сожалению, многих южных популяций уже не существует, а другие – слишком подавлены, чтобы обеспечить дрейф генов путём стреинга в достаточной мере. Таким образом, вымирание или упадок одних популяций может затруднить будущую способность к адаптации у других.”

Miller *et al.* 2012 *Mol. Ecology*

Журнал «Молекулярная экология»

MOLECULAR ECOLOGY

Molecular Ecology (2012) **21**, 237–249 doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05305.x

Сохранённый гаплотип контролирует параллельную адаптацию у географически отдалённых лососёвых популяций.

A conserved haplotype controls parallel adaptation in geographically distant salmonid populations

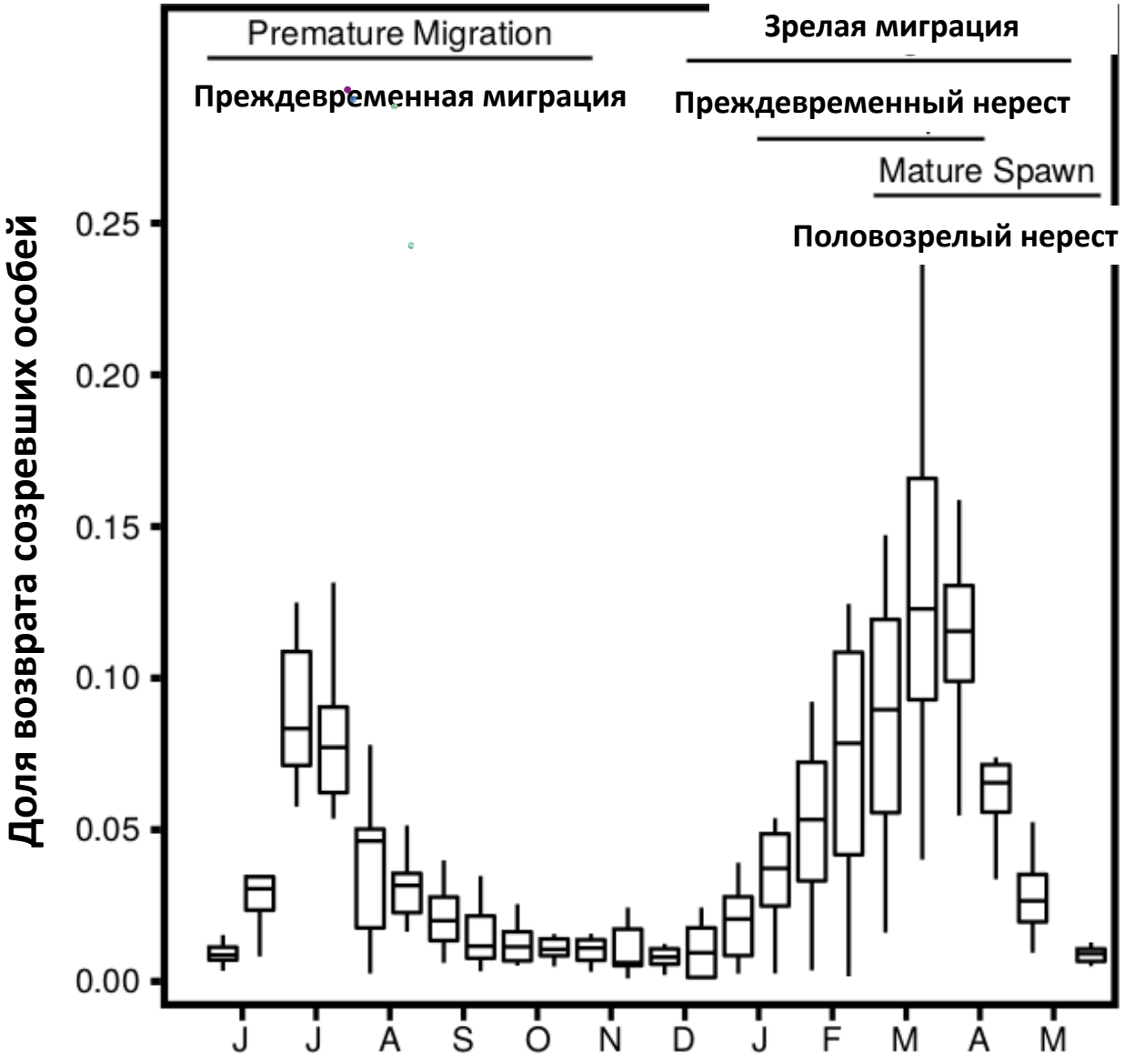
MICHAEL R. MILLER,* JOSEPH P. BRUNELLI,† PAUL A. WHEELER,† SIXIN LIU,‡ CAIRD E. REXROAD III,‡ YNIV PALTI,‡ CHRIS Q. DOE* and GARY H. THORGAARD†

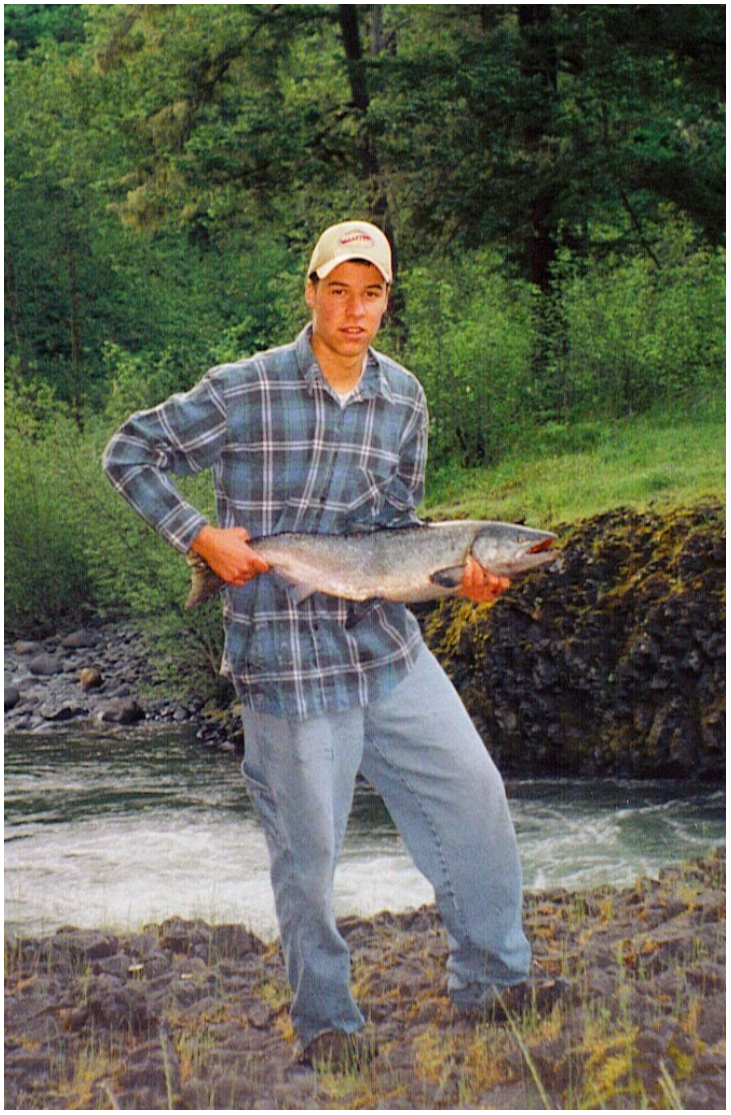
*Institute of Molecular Biology and Howard Hughes Medical Institute, University of Oregon, Eugene, OR 97403, USA, †School of Biological Sciences and Center for Reproductive Biology, Washington State University, Pullman, WA 99164, USA, ‡National Center for Cool and Cold Water Aquaculture, Agricultural Research Service-USDA, Kearneysville, WV 25430, USA

Майкл Р. Миллер, Джозеф П. Брунелли, Паул А. Вилер, Сиксин Лиу, Каэрд Е. Рексроуд III, Инив Палти, Крис К. Доу и Гари Х. Торгаард

*Институт молекулярной биологии и Медицинский институт имени Ховарда Хьюса, Университет штата Орегон, г. Юджин, Орегон, индекс 97403, США, † Кафедра биологических наук и Центр репродуктивной биологии, Университет штата Вашингтон, Паллман, Вашингтон, 99164, США, ‡ Национальный центр аквакультуры прохладных и холодных вод, Служба сельскохозяйственных исследований при Министерстве сельского хозяйства США, Кернейсвилл, Западная Вирджиния, 25430, США

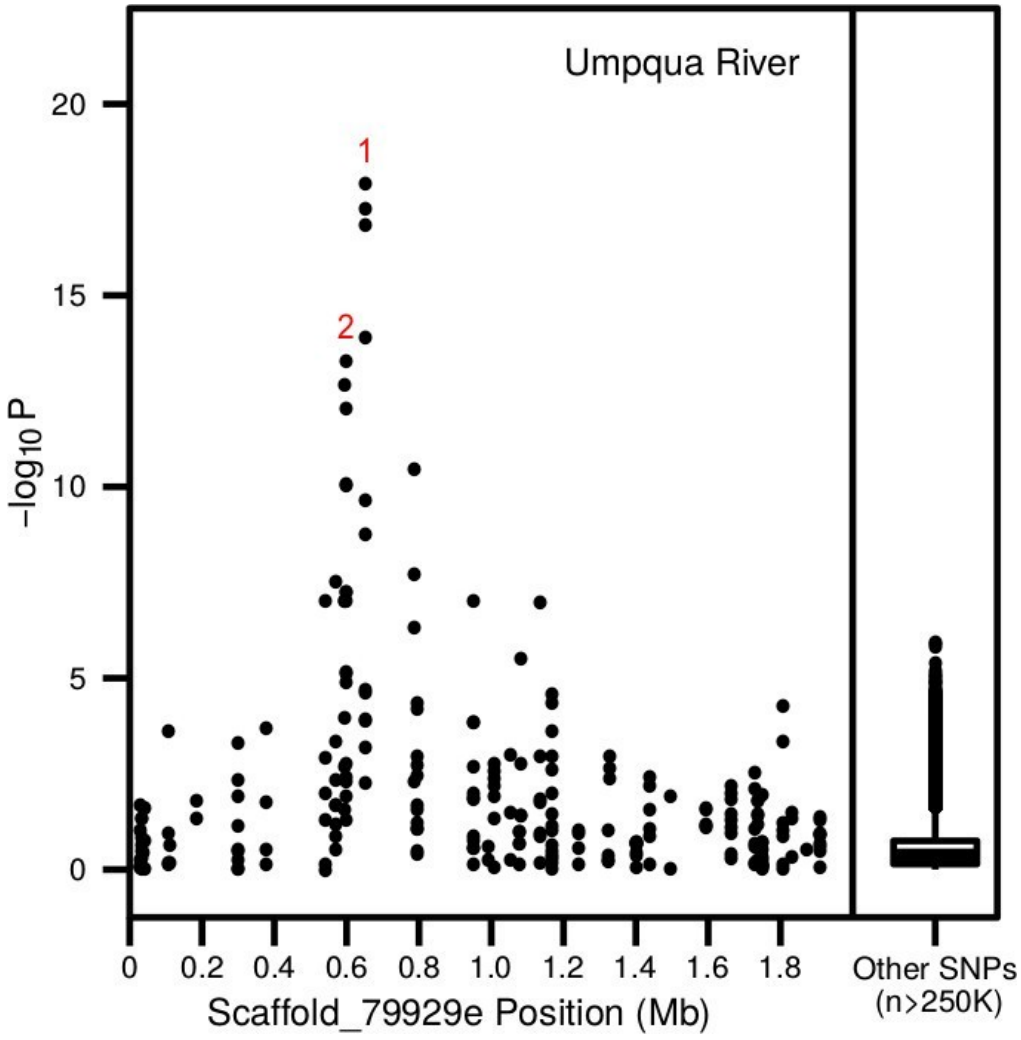
В новой лаборатории Университета Калифорнии в г. Дейвисе мы решили изучить вариации времени подходов у чавычи и стальноголового

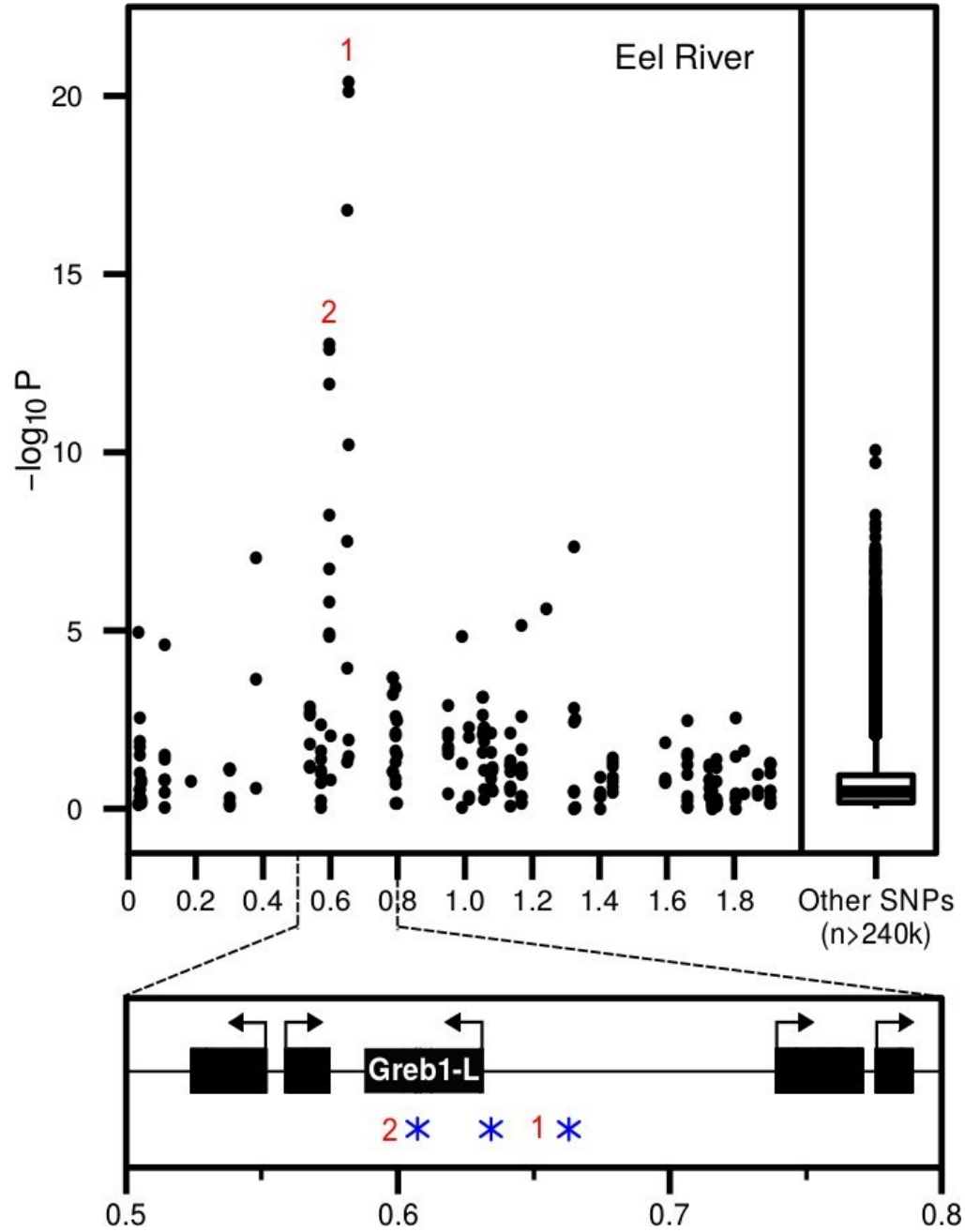




Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

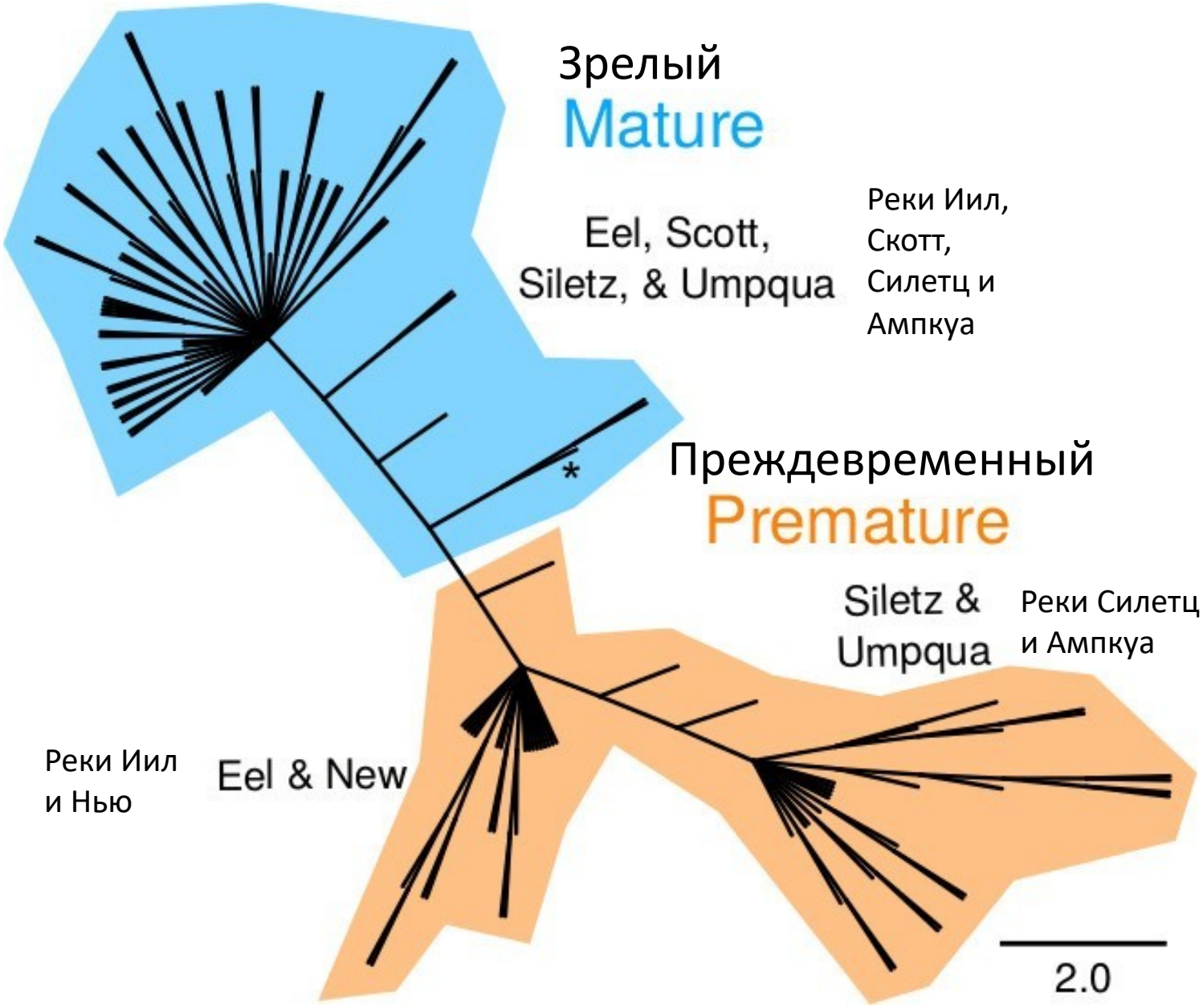
Мы обнаружили единичный локус чётко связанный с весенним временем возврата у многочисленных популяций стальноголового лосося.





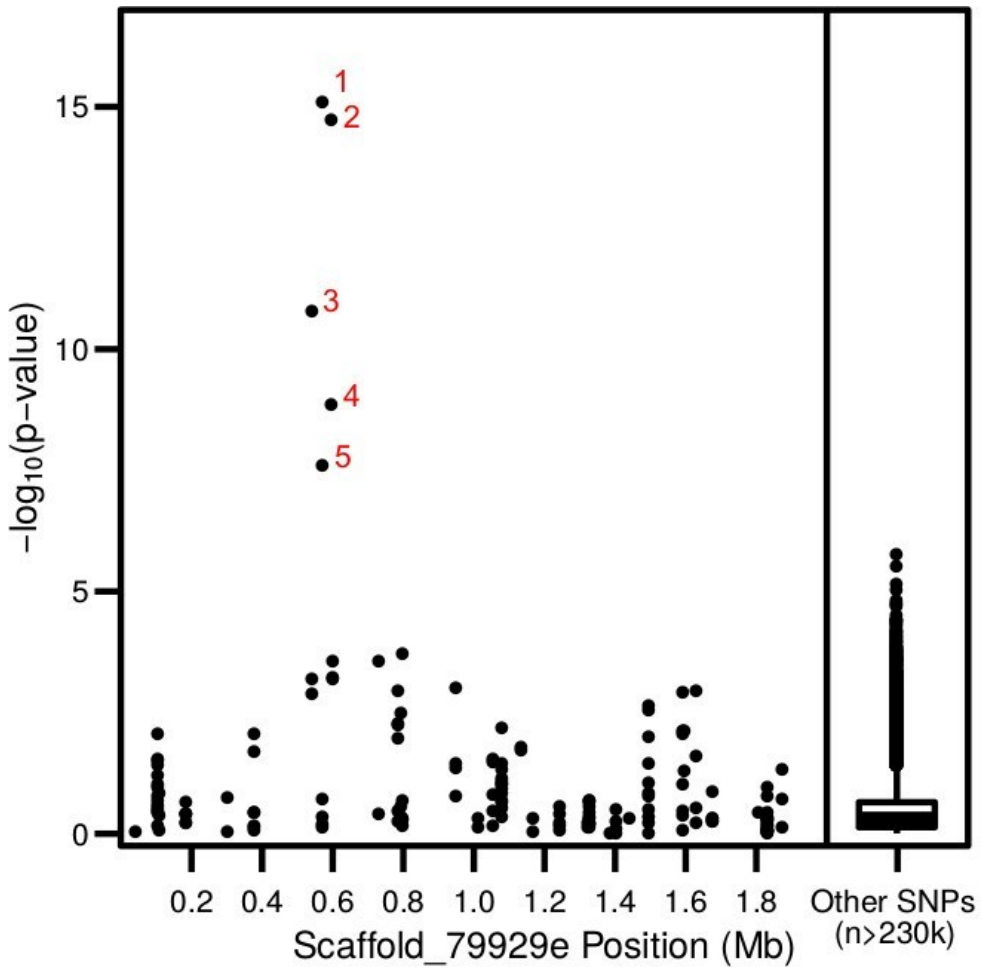
Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

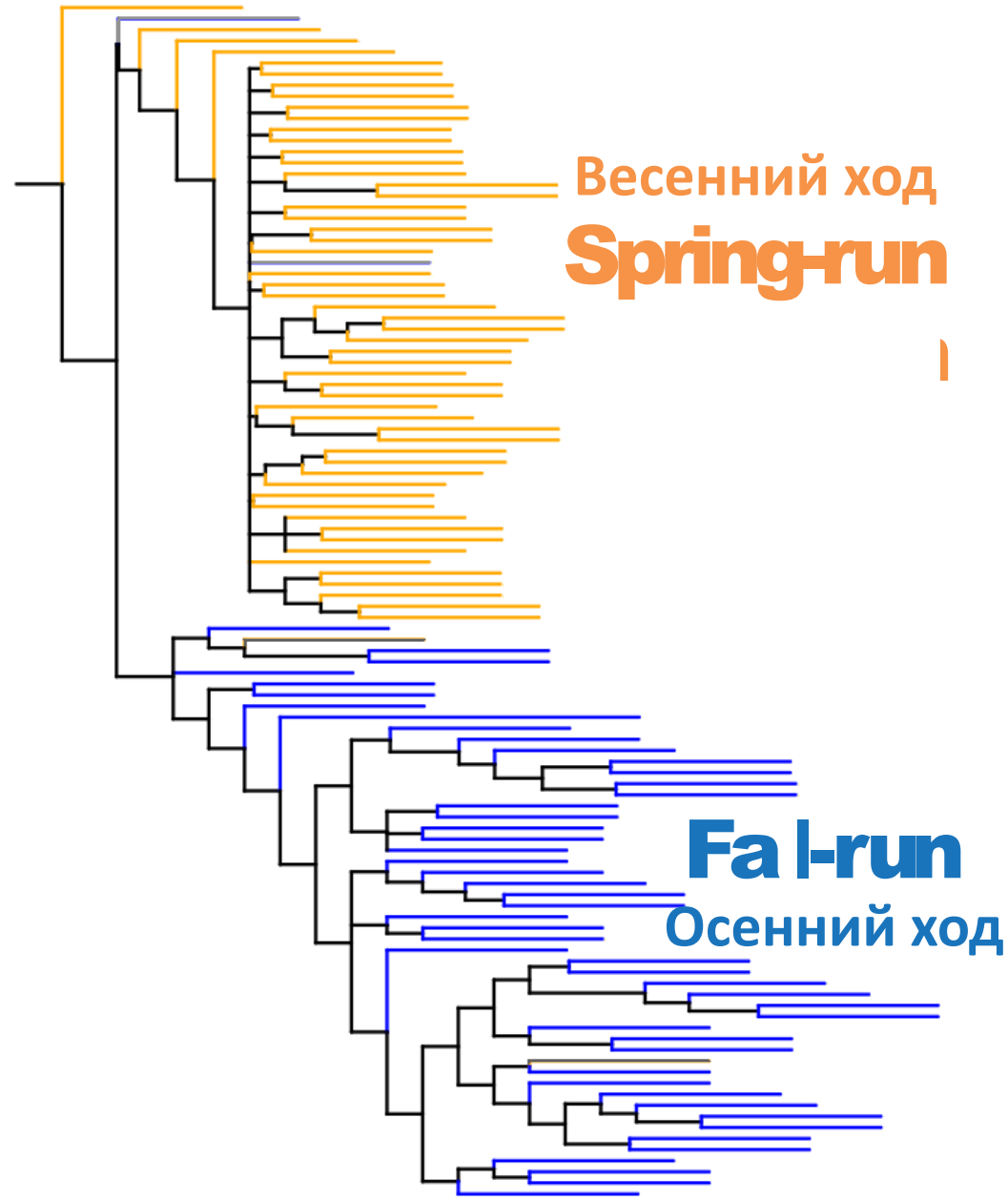
Одна древняя аллельная эволюционная модификация является абсолютным источником всех аллелей летней расы (т.н. преждевременной).



Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

Один и тот же генетический и эволюционный механизм объясняет преждевременную миграцию (или весенний возврат) и у чавычи.





Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

Мы рассмотрели значение этих результатов и выявленного эволюционного механизма для природоохраны.

“Если имеющиеся аллели ранней миграции будут потеряны, то нельзя ожидать, что новые аллели преждевременной миграции и зависящие от них фенотипы повторно возродятся в сроки, соответствующие планированию природоохранных мероприятий… Можно ожидать, что аллели с сильным влиянием на фенотипы будут потеряны на уровне популяции быстро в случае жёсткого отбора в ущерб тому фенотипу, которому они способствуют… [Аллель преждевременной миграции] не может сохраниться в качестве запасной вариации у популяций, не имеющих фенотипа ранней миграции.”

Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

Мы рассмотрели значение этих результатов и выявленного эволюционного механизма для природоохраны.

“Таким образом, несмотря на то, что развитие фенотипа ранней миграции на новых местах может быть быстрым, если в непосредственной близости имеются популяции с ранним временем миграции, повальное истребление и упадок преждевременно мигрирующих популяций сильно понизили возможность восстановления и расширения этого признака.”

Prince *et al.* 2017 *Sci. Adv.*

ЖУРНАЛ «ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ» I ИССЛЕДОВАНИЕ

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

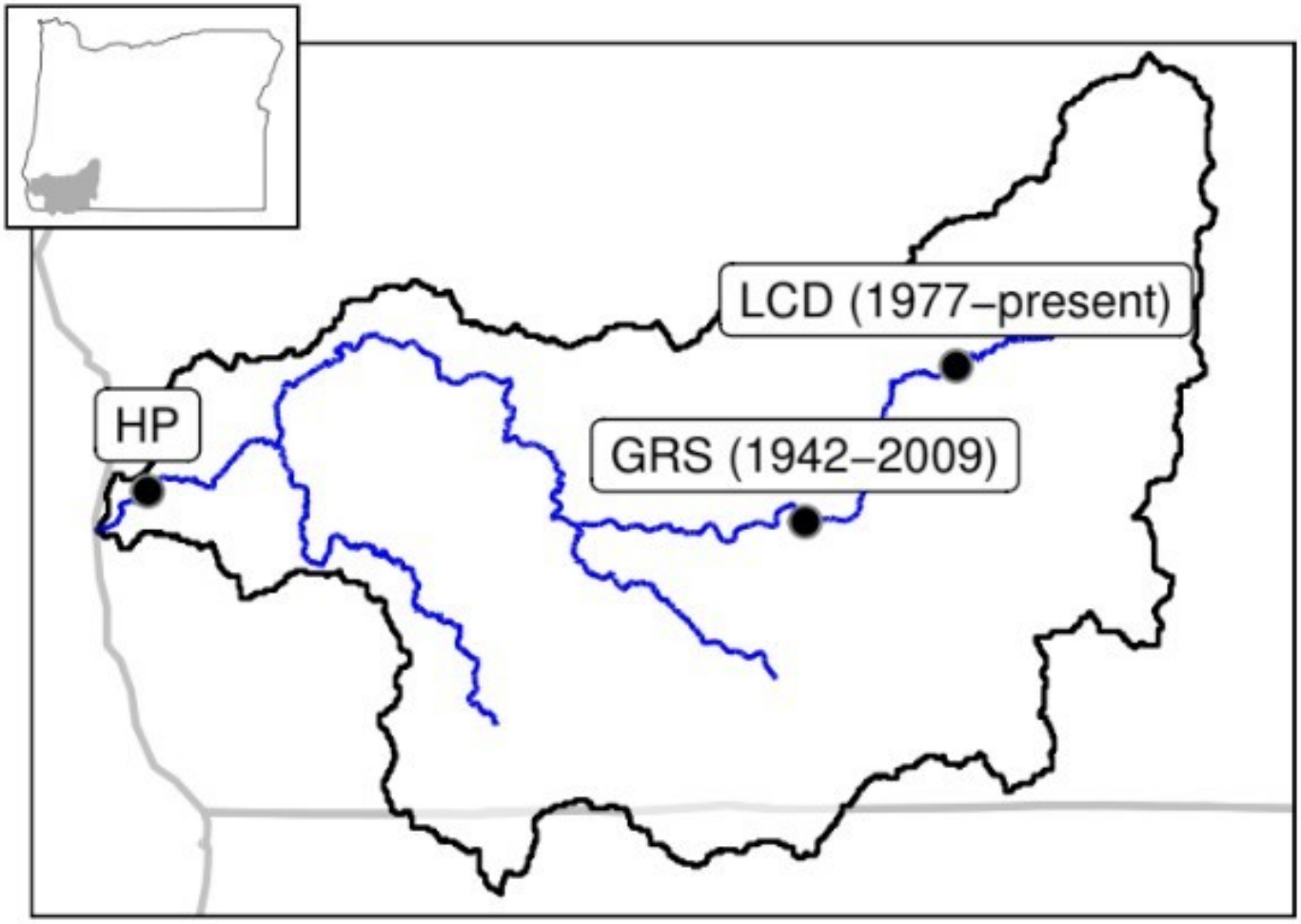
The evolutionary basis of premature migration in Pacific salmon highlights the utility of genomics for informing conservation

Daniel J. Prince,[1,2] Sean M. O'Rourke,[1*] Tasha Q. Thompson,[1*] Omar A. Ali,[1] Hannah S. Lyman,[1] Ismail K. Saglam,[1,3] Thomas J. Hotaling,[4] Adrian P. Spidle,[5] Michael R. Miller[1,2†]

Эволюционные причины преждевременной миграции у тихоокеанских лососей подчёркивают целесообразность использования геномов в целях информирования природоохранных решений

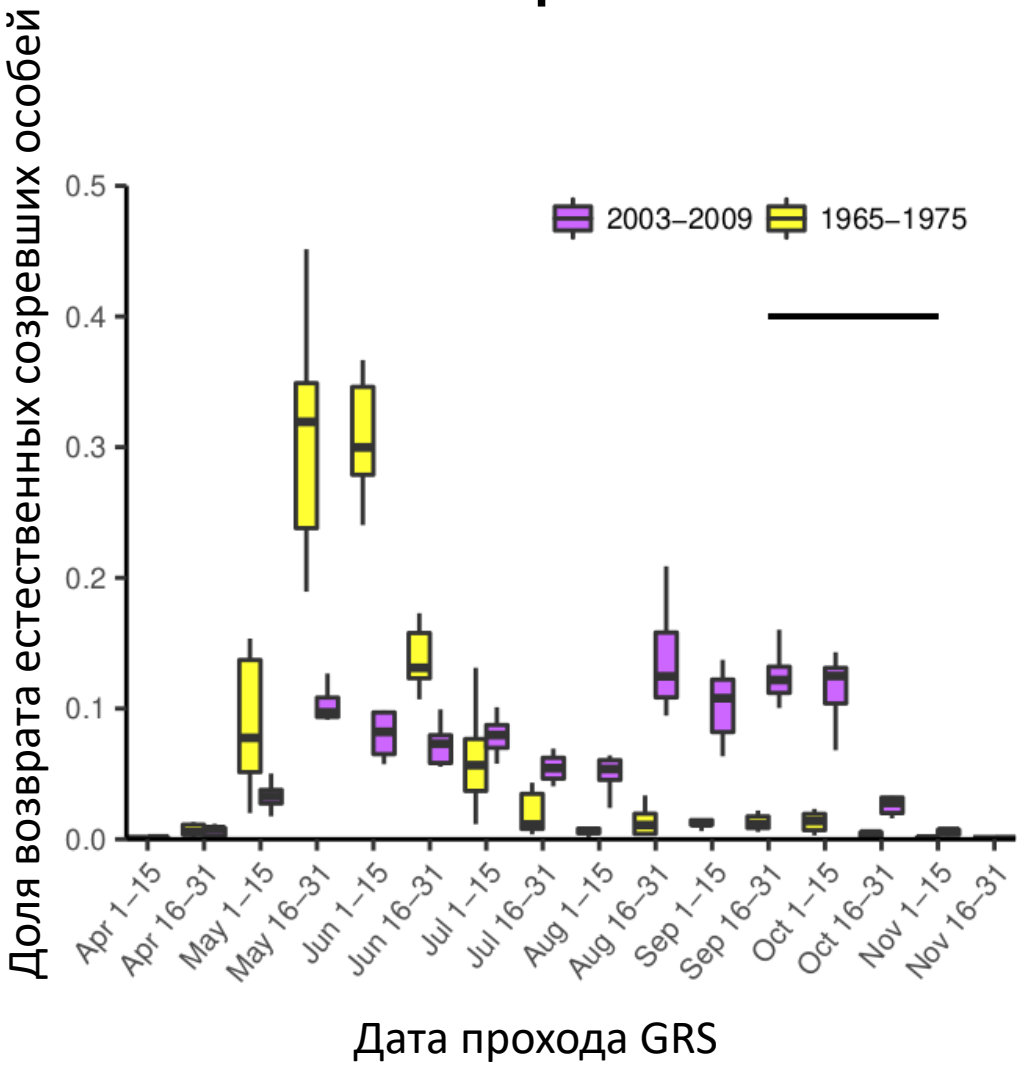
Даниэль Д. Принс, Шон М. О'Рурке, Таша Томпсон, Омар А. Али, Ханна С. Лайман, Ишмаил К. Саглам, Томас Д. Хоталинг, Эдриан П. Спидл, Майкл Р. Миллер

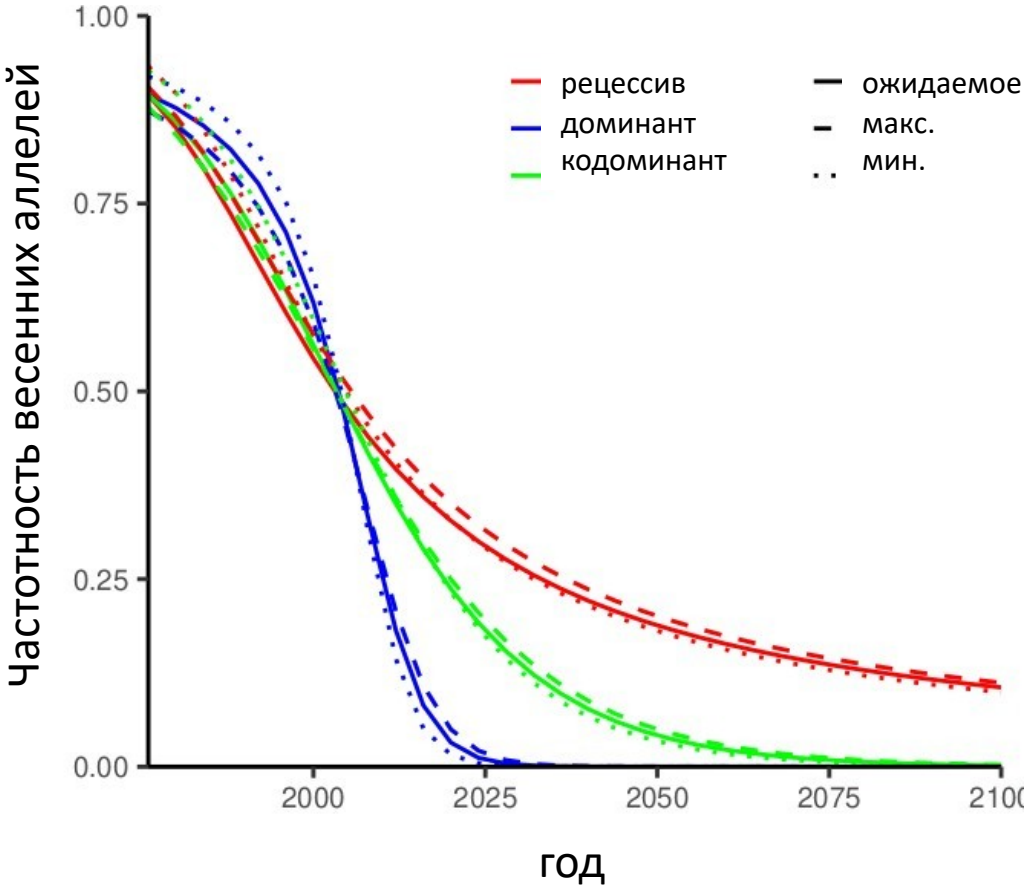
Мы сконцентрировали внимание на чавыче рек Рог и Кламат, чтобы далее прояснить значение обнаруженных нами результатов для природоохраны и восстановления среды обитания



Thompson *et al.* 2019 *PNAS*

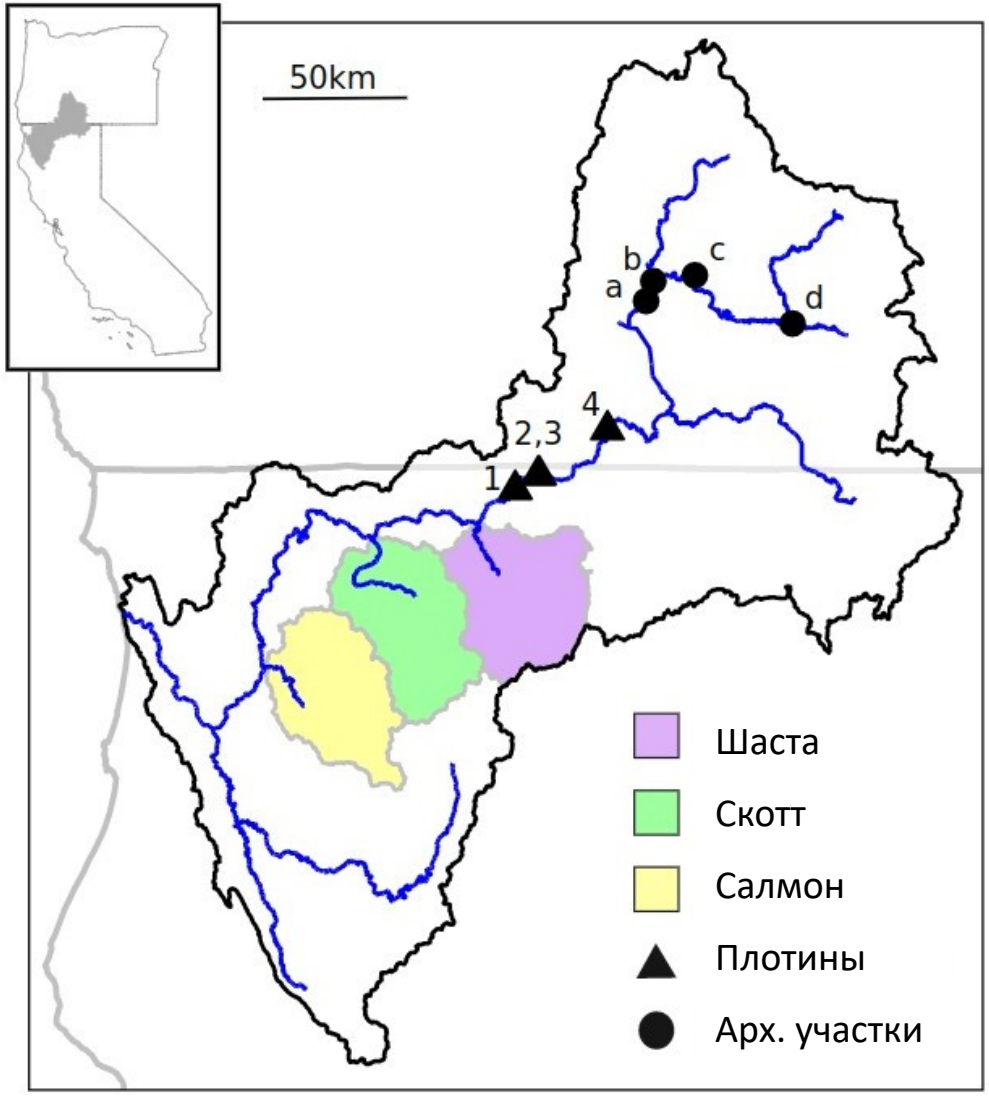
Чавыча реки Рог испытала сильнейший фенотипический и генотипический сдвиг с момента строительства плотины Лост Крик





Thompson *et al.* 2019 *PNAS*

Реки Шаста и Скотт не выполняют роль устойчивых резервуаров аллелей весенней расы.



Местонахождение	Последнее наблюдение весенней чавычи	Число проб	Частотность аллелей весенней расы
Салмон	есть в наличии	116	0.20
Шаста	1930’s	440	**0.002**
Скотт	1970’s	432	**0.002**

Thompson *et al.* 2019 *PNAS*

Мы рассмотрели значение этих результатов и выявленного эволюционного механизма для природоохраны.

“Полученные результаты говорят о том, что широкомасштабный упадок и истребление весеннего фенотипа и связанных с ним аллелей затруднит восстановление весенней расы [после сноса плотины Кламат] и будущих реконструкционных проектов. Эти данные раскрывают механизмы и последствия фенотипических модификаций, вызванных человеком, и акцентируют необходимость охраны и восстановления значимой адаптивной вариации прежде, чем возможность её восстановления будет утеряна.”

Thompson *et al.* 2019 *PNAS*

Anthropogenic habitat alteration leads to rapid loss of adaptive variation and restoration potential in wild salmon populations

Tasha Q. Thompson[a,b,1], M. Renee Bellinger[c,2], Sean M. O'Rourke[a,b,2], Daniel J. Prince[a,b,2], Alexander E. Stevenson[d], Antonia T. Rodrigues[e], Matthew R. Sloat[f], Camilla F. Speller[g,h], Dongya Y. Yang[e], Virginia L. Butler[i], Michael A. Banks[c], and Michael R. Miller[a,b,1]

Антропогенные изменения среды обитания приводят к быстрой потере адаптивной вариации и возможности её восстановления у естественных лососевых популяций

Таша Томпсон, М. Рени Беллингер, Шон М. О'Рурке, Даниэль Д. Принс, Александер Е. Стивенсон, Антония Р. Родригес, Мэттью Р. Слоат, Камилла Ф. Спеллер, Донджиа И. Йен, Вирджиния Л. Батлер, Майкл А. Бэнкс и Майкл Р. Миллер

Тот же эволюционный механизм характерен и для других важных характеристик у лососей.

ЖУРНАЛ «НАУЧНЫЕ ДОКЛАДЫ»

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

An ancient selective sweep linked to reproductive life history evolution in sockeye salmon

Andrew J. Veale[1,2] & Michael A. Russello[1]

Связь между масштабной селективной модификацией в древности и эволюцией репродуктивного онтогенеза у нерки

Эндрю Д. Вилэ и Майкл А. Русселло

Тот же эволюционный механизм характерен и для других важных особенностей у лососей.

ЖУРНАЛ «Nature»

LETTER

doi:10.1038/nature16062

Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon

Nicola J. Barson[1]*, Tutku Aykanat[2]*, Kjetil Hindar[3], Matthew Baranski[4], Geir H. Bolstad[3], Peder Fiske[3], Céleste Jacq[4], Arne J. Jensen[3], Susan E. Johnston[5], Sten Karlsson[3], Matthew Kent[1], Thomas Moen[6], Eero Niemelä[7], Torfinn Nome[1], Tor F. Næsje[3], Panu Orell[7], Atso Romakkaniemi[7], Harald Sægrov[8], Kurt Urdal[8], Jaakko Erkinaro[7], Sigbjørn Lien[1] & Craig R. Primmer[2]

Зависящее от пола доминирование на уровне единичного локуса сохраняет возрастные вариации в стадии половозрелости у лосося

Никола Д. Барсон, Татку Айканат, Кьетил Хиндар, Мэттью Баранski, Джер Х. Больстад, Педер Фиске, Селесте Жак, Арне Д. Дженсен, Сюзан Е. Джонсон, Стен Карлссон, Мэттью Кент, Томас Моэн, Иро Ниемела, Торфинн Ноум, Тор Ф. Насье, Пану Орелл, Атсо Ромакканиеми, Гаральд Сэгров, Курт Урдал, Жаакко Эркинаро, Сигбьёрн Лиен и Крейг Р. Приммер

Выводы

- Локусы с сильным фенотипическим действием влияют на многие адаптивные характеристики.
- Аллели одной эволюционной модификации многократно используются в широком географическом спектре.
- Сильные аллели подвержены потере под давлением отбора в ущерб фенотипу, которому они способствуют.
- Современные природоохранные меры не предусматривают такой ситуации и могут потерпеть поражение.