

«Берегите лес!» — как часто на обочинах дорог видим мы эти выцветшие плакаты. Но почему-то беречь лес у нас не принято — этого не делают ни отдыхающие, которые оставляют за собой горы мусора, ни государство. Чем грозит такая бесхозяйственность? Почему в других странах иначе? Зачем вообще нужен лес? Что будет, если его не станет? Что делать, чтобы оптимизировать ситуацию? Об этом размышляет Константин Валерьевич Крутовский, ведущий научный сотрудник Института общей генетики РАН, профессор генетики и геномики Геттингенского университета, почетный профессор и руководитель геномного центра Северного федерального университета.

*Беседу вела специальный корреспондент журнала «ЭБ» Наталия Лескова.*

## Как помочь «зеленому другу»



*Ваша область исследований — лесная геномика. Что это такое и зачем ее нужно изучать?*

Вообще термин «геномика» возник не так давно. Это производное от термина «геном», обозначающего совокупность генов в хромосоме. Когда начали развиваться методы секвенирования, то есть прочтения генома и изучения генов на молекулярном уровне, сформировалось новое направление — геномика. Рождение этого термина — не просто дань моде, его появление свидетельствует о переходе на новый качественный уровень, о возможности изучения всех генов в совокупности. А лесная геномика — это изучение лесных видов на полногеномном уровне, по совокупности многих генов, причем не только древесных, хотя древесных в первую очередь, потому что они являются системообразующими, ключевыми видами, формирующими экосистему и создающими среду обитания.

➤ У нас есть такие места на Алтае, в Саянах, когда заходишь в лес, как в древний храм.

Основная ее задача — изучение того, как лесные виды эволюционируют и изменяются, что особенно актуально в связи с проблемой их адаптации к изменениям климата, насколько виды способны приспособиться к этим изменениям, как это будет происходить. Все это особенно актуально именно для России.

*Видимо, из-за огромных наших лесных площадей?*

Почти треть всех лесов находится в России. А если говорить о бореальных, северных лесах, то эта цифра составляет 75 процентов. Леса определяют климат — как микро-, так и глобальный. Сейчас на передний план выходит «карбоновая» тема. Мы понимаем, что необходимо ограничивать выбросы парниковых газов в атмосферу, в том числе через связывание углерода. Здесь ключевую роль также играют леса.

*Что важного удалось выяснить об эволюции лесов? Насколько они изменились?*

Современные леса довольно сильно отличаются от реликтовых, особенно там, где идет активное хозяйствование. В Европе почти не осталось нативных лесов, в основном это поколения после многочисленных сплошных рубок. То же самое в Северной Америке, кроме Канады. Россия в этом отношении уникальна.

Моя область исследований — это главным образом хвойные виды, являющиеся одним из самых древних видов растений. Они возникли более трехсот миллионов лет назад и, обладая уникальной репро-



дуктивной системой, во многом сохранили свою структуру, оказались довольно консервативными.

Бореальные леса — в основном хвойные. Вообще хвойным принадлежат все биологические рекорды. Они главные наши долгожители. Сосна остистая живет до пяти тысяч лет, секвойя — до двух-трех тысяч, наш российский кедр — 700–800 лет. Эти старые естественные леса вызывают удивительное, ни с чем не сравнимое мистическое ощущение. У нас есть такие места на Алтае, в Саянах, когда заходишь в лес, как в древний храм. Нечто подобное чувствуешь, когда заходишь в лес секвой в США. Мне повезло: я четыре года работал там в лесной службе. В Орегоне, где я семь лет работал в университете, тоже сохранились девственные леса, где никогда не рубили. Там можно встретить очень важный вид дугласия, или псевдотсуга, — гигантское дерево семейства сосновых, живущее более 700 лет.

*Что интересного Вы обнаружили в процессе исследований?*

Много чего. У хвойных гигантский геном, в пять-шесть, а иногда и в десять раз больше генома человека. У человека геном составляет примерно три миллиарда двести миллионов нуклеотидных оснований, а у хвойных — до тридцати миллиардов.

*Почему так?*

Это интересный вопрос. Мы обнаружили, что там большой процент повторяющейся ДНК (70–80 процентов), но при этом геном очень консервативен, а семейства генов (группы генов с общими функциями) представлены большим числом генов, чем у других растений. У меня есть гипотеза, что такое дублирование помогает стабилизировать геном, снижает негативный эффект соматических мутаций, накапливающихся с возрастом и ослабляющих организм. Возможно, это и объясняет долголетие хвойных.

Интересно, что среди высокоповторяющихся элементов ДНК генома хвойных много тех, что способствуют дупликации генов, а также некодирующих районов (транспозоны, ретровирусы и другие мобильные элементы), это ведет к увеличению генома. Но организму энергетически невыгодно поддерживать большие геномы, поэтому происходит также обратный эволюционный процесс — сокращение генома за счет удаления нефункциональных районов. Можно сказать, что хвойные застыли в своем развитии. Почему — это загадка, которую мы пытаемся разгадать.

➤➤ **Хвойным принадлежат все биологические рекорды. Сосна остистая живет до пяти тысяч лет, секвойя — до двух-трех тысяч, наш российский кедр — 700–800 лет.**

Недавно с коллегами из Университета Хайфы (Израиль) мы опубликовали статью, где затрагиваем проблему «темной материи генома». Функция многих высокоповторяющихся элементов очень проста и понятна. Например, ретровирусы — это внутригеномные паразиты, которые встраиваются в геном и прекрасно там существуют. Или транспозоны — это фрагменты ДНК в геноме организмов, способные к передвижению и размножению в пределах генома. Они состоят из одного гена, и можно даже назвать их наипростейшими организмами.

Но кроме них в геноме хвойных обнаружено очень много высокоповторяющихся элементов с непонятной функцией. Так вот, у хвойных их больше всего.

*Есть ли какие-то предположения, почему так?* Это огромное поле для исследований. Вероятно, на каком-то этапе активность мобильных элементов генома была высока и способствовала его увеличению, но в данный момент они неактивны, их деятельность подавлена. При этом они сохраняются в геноме — и в этом заключается парадокс. Ведь понятно, что организм борется с паразитами, встроенными в геном хозяина и использующими его аппарат для размножения. Например, некоторым вирусам человека (таким, скажем, как вирусы гепатита и иммунодефицита) удается встроиться в геном. Хозяину это невыгодно, он пытается с ними бороться, но избавиться от таких вирусов крайне проблематично. А вот, например, коронавирусы не могут встраиваться в геном, хотя тоже являются внутриклеточными паразитами.

➤ У нас 90 процентов лесных пожаров имеют антропогенное происхождение, начиная от искусственных поджогов и заканчивая разведением костров.

Но, с другой стороны, такие внутригеномные паразиты играют важную эволюционную роль, повышая изменчивость. Меняя свою позицию в геноме, они могут захватывать окружающие фрагменты ДНК и таким образом перемешивать геном, создавать новые комбинации генов или влиять на их экспрессию, что становится одним из факторов мутагенеза. Если возникающие в результате новые признаки и свойства организма-хозяина повышают его приспособленность, то они закрепляются естественным отбором. Таким образом, эти мобильные элементы, с одной стороны, не нужны или даже вредны хозяину, а с другой, играют важную эволюционную роль.

*Давайте поговорим о практическом значении ваших исследований. Каково оно в данном случае?* Главный вопрос, который сейчас волнует нас больше всего, — насколько современные леса приспособлены к изменениям климата, происходящим довольно быстро, и как леса будут меняться. Это напрямую связано с проблемой сохранения биоразнообразия и среды обитания других организмов. От деревьев зависит очень многое — от микробиомов почвы (сообщества микроорганизмов — бактерий и грибов) до крупных животных. Нас интересует адаптивный потенциал лесных видов.

*Так выживут наши леса или нам всем грозит смертельная опасность?* Многие леса способны адаптироваться, потому что у них сохраняется высокий уровень генетической изменчивости и так называемая *connectivity* — они связаны между собой через миграцию и обмен генов. Когда лес сильно фрагментирован, то есть отдельные популяции малочисленны и изолированы друг от друга, адаптивная мутация, которая

могла бы способствовать выживанию в условиях средового стресса (например, засухи, резких перепадов температуры и т.д.), может быть случайно потеряна. У нее также мало шансов попасть в другие популяции и помочь им выжить. Поэтому те виды, популяции, которые не изолированы и сохраняют связь (*connectivity*) между собой, имеют больше шансов для выживания.

*Можно ли искусственно усилить это свойство?* Этот вопрос очень остро стоит в природоохранной генетике. Такую *connectivity* можно повышать через создание зеленых полос, соединяющих лесные массивы. Их единство сильно нарушают различные элементы инфраструктуры — линии электропередачи, газопроводы, крупные автомагистрали, а также вырубки для сельскохозяйствен-

ных целей и т.д. В результате леса становятся более чувствительными и менее устойчивыми.

Кроме того, при лесовоспроизводстве и восстановлении лесов нужно учитывать те климатические условия, которые будут через 20–30 лет. Существуют модели, позволяющие такой прогноз сделать. С его учетом нужно использовать соответствующий растительный материал, уже адаптированный к будущим условиям. Это называется *assisted migration* — «искусственная миграция», то есть ведение лесохозяйственной деятельности с учетом не только происхождения, но и климатических условий, генетического потенциала растительного материала (семян и саженцев), используемого для восстановления леса. Это новый подход, который развивается во всем мире.

*А в России?*

У нас долгое время было хищническое отношение к лесу, и это обусловило его почти критическое состояние. Многие леса у нас находятся на грани вымирания. Сейчас это, по-моему, осознали на самом высоком уровне. Принимается много важных хозяйственных и политических решений — в частности, ограничены сплошные рубки на больших территориях, усилен контроль за восстановлением лесных массивов, запрещен импорт «кругляка» (необработанного леса), значительно усилена борьба с нелегальными рубками, браконьерством и нелегальным оборотом древесины и растительного материала. Это во многом сократило хищническое уничтожение леса. Специалисты, лесоводы, генетики уже много лет об этом говорят, и нас, наконец, вроде бы услышали. Это будет способствовать сохранению и более эффективному воспроизводству леса. А запрещение импорта необработанного леса — также и созданию собственных

производств, новых рабочих мест по переработке древесины. Большое, важное достижение.

Другое важное решение — подписанное совсем недавно в рамках международного климатического форума соглашение о полном прекращении к 2030 году рубок естественных лесов. С одной стороны, это радует, ведь лесам оставляют их экологически и биологически важные функции, с другой — возникает вопрос: а что тогда будут рубить? У нас мало развито лесное плантационное хозяйство. Чтобы перестать рубить лес через восемь лет, плантации надо было сажать еще 10–20 лет назад. Или хотя бы срочно сажать сейчас. Но никто этого делать не спешит, нет никаких специальных программ для создания таких плантаций.

*А что это такое лесное плантационное хозяйство?*

Это один из типов лесного хозяйствования, где можно использовать принципы высокоэффективного сельского хозяйства. Это управляемый, контролируемый лес, где возможно применение монокультур, генно-модифицированных организмов, разного рода удобрений, ускоренных рубок и так далее. Это так называемое агрофорестри (*agroforestry*). По этому пути пошли США и многие страны Европы, защищая естественные леса и сохраняя их функции. По данным ФАО ООН за 2015 год, лесные плантации занимают всего 7 процентов площади лесов в мире (264 млн га из 4,2 млрд га), но дают около 30 процентов промышленной древесины.

В России промышленных лесосырьевых плантаций почти нет, а есть только лесные культуры, хотя возможностей у нас больше, чем в США, потому что у нас очень много земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота, — фактически брошенных, неиспользуемых.

*Знаю, президент В.В. Путин совсем недавно дал поручение об использовании для лесных нужд земель сельхозназначения. Выходит, выполнить его в нынешних условиях невозможно?*

Хорошо уже то, что такой документ появился. Лед тронулся. Теперь надо думать о его обеспечении, продвигать мысль о создании лесных плантаций, адаптировать законы, создавать специальные программы и т.д.

*В «Гринписе» считают, что существует множество противоречий между принятыми законами и действительностью, когда собственники вынуждены сжигать свои леса, поскольку на них налагают огромные штрафы и угрожают отъемом земли. Это действительно так? И связано ли это с лесными пожарами, которые у нас периодически бушуют?*

Это лишь одна из существующих проблем. Есть и другие. Леса отдают в аренду, и после рубки



арендатор обязан посадить новый лес. Но за этим никто не следит. Часто лишь создается видимость, будто что-то посадили, но так ли это на самом деле, какой использовали материал, прижился ли он, практически не контролируется. Отчитались, а через год там все засохло или ничего не выросло, кроме сорняков.

*И что делать? Какой выход?*

Давать такие глобальные советы, выходя за рамки своей компетенции, я не хочу. Согласен с мнением директора Института леса СО РАН Александром Александровичем Онучиным, который считает: главная проблема в том, что у нашего леса нет хозяина. Лесников стало намного меньше, их роль сведена к нулю, новый лесной устав крайне неудачен. Законотворческая деятельность вокруг леса недостаточно продумана. Лес сейчас очень криминализован. Широко распространены разного рода нарушения, браконьерство, нелегальный оборот. Это стало возможным именно потому, что сильно ослаблен государственный контроль.

Если сравнивать Россию и США, то там очень жесткий контроль, причем на всех уровнях — от федерального до местного. Сильная законодательная база, рейнджеры имеют большие права, ведется активное лесовосстановление.

Вы спросили о пожарах. У нас 90 процентов лесных пожаров имеют антропогенное происхождение, начиная от искусственных поджогов и заканчивая разведением костров. Попробуйте развести костер в Америке в неполюженном месте — вас ждут очень большие штрафы, а если это привело к пожару, то и уголовная ответственность.

В то же время там есть специальные места, где создана необходимая инфраструктура для отдыха на природе. Люди не лишены такой возможности, но при этом лес хорошо защищен. Думаю, этому нам стоит поучиться.

ПЭС 22053

Интервью поступило в редакцию 19.07.2022;

принято к публикации 22.07.2022