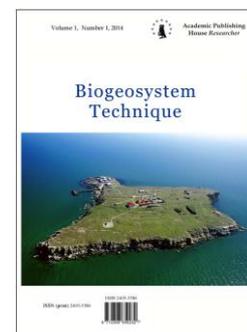


Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
Vol. 1, No. 1, pp. 69-84, 2014

DOI: 10.13187/bgt.2014.1.69

www.ejournal19.com

UDC 631

Ecological Genomics and Agriecosystems

Valery I. Glazko

Russian state agrarian University – Moscow agricultural Academy named after K.A. Timiryazev;
Russian Federation
Moscow, 127550, Timiryazevskaya str., 49

Abstract

The particularity of modern stage of agriecosystems, which demonstrated the crisis of agricultural civilization development throughout extensive way were considered. It was shown, how on the basis of modern possibilities of gene and genomic technologies, which linked with the geoinformation systems, it was possible to identify the genes involved in adaptations. The possibilities of agriculture intensification with the revealing and using the connections between gene pools of cultural plants and farm animals and the ecological-geographical features of their reproduction.

Keywords: agriecosystems; genomics; geoinformation systems (GIS); population genetics; ecological factors.

Введение

В широком смысле экологическая геномика возникла в пост-геномную эру, основанная на секвенировании, включает масштабные исследования, проводимые на разных уровнях – отдельного организма, популяции или сообщества с целью получения новой информации об эволюционной экологии, взаимодействиях организм – среда и процессов организации и функционирования экосистем. Экологическая геномика и пост-геномика глубоко и подробно исследует различные биологические системы, такие как, например: (1) сообщества, включающие прокариотические и эукариотические организмы; (2) малые по размеру эукариоты – пико и нано-эукариоты; (3) многовидовые сети организмов высших эукариот, таких как корневые системы растений или смешанные виды симбионтов насекомых (4) ткани высших эукариотических организмов, содержащие естественные паразиты, мутуалисты или симбионты и (5) немодельные виды, которые не растут в искусственных и лабораторных условиях. В других областях исследований, таких как токсикология и экотоксикология, экологическая геномика рассматривает взаимоотношения ген-среда или геном-средовые взаимоотношения, включая такие модельные объекты как дрожжи или *Arabidopsis thaliana*, под сильным средовым воздействием, или в эволюционной перспективе, или даже экстраполируя данные на геном человека. Главной целью экологической геномики является проникновение в «темную материю» функциональных связей между генами и геномами в сообществах экосистем, их реакцию на изменения окружающей среды, эволюционный контекст, внутри которого они формируются и тот диапазон возможностей, который позволяет им приспосабливаться к вновь возникающим средовым условиям. Особое значение экологическая геномика приобретает в

связи с необходимостью изменений учета экологических факторов в работе с сельскохозяйственными видами. Так, по данным исследований Дж. Бека и А. Сиевера продуктивность животноводства в глобальном масштабе непосредственно зависит от различных типов хозяйствования (смешанное сельское хозяйство, оседлое животноводство, пастбищное скотоводство, охота и собирательство), и на 40% его вклад в ВВП определяется только двумя параметрами — почвой и климатом [15]. Важно отметить, что в настоящее время сельскохозяйственное производство разворачивается в период существенного ухудшения экологической обстановки.

Глобальные и локальные кризисы биосферы

1. Кризис аграрной цивилизации

Принято выделять три типа системных кризисов, исходя из соотношений внешних и внутренних причин.

1. Экзогенные кризисы происходят из-за относительно случайных, не зависящих от системы событий в среде, таких как, например колебаний солнечной, геологической активности, глобальных изменений климата, космических катаклизмов, и т.д.

2. Эндогенные кризисы обусловлены сменой внутренних генетической программы, парадигм, общего менталитета нации или исчерпанием программы в целом.

3. Смешанные кризисы эндо-экзогенного происхождения вызваны изменениями среды, спровоцированными собственной активностью системы, в нашем случае это антропогенные экологические кризисы.

Биосфера как саморазвивающаяся система за многомиллиардную историю существования пережила огромное количество локальных и глобальных кризисов, всякий раз возрождаясь и продолжая свое развитие на новом эволюционном уровне. Исследования показывают, что заложенные в эволюцию животного мира механизмы постоянной смены видов обеспечивают существование в биосфере одного вида в среднем около 3.5 млн лет [1]. Поэтому современный человек – кроманьонец, появившийся 60–30 тыс. лет назад как биологический вид – находится на начальном этапе развития. Однако своей деятельностью за относительно короткий срок он в отличие от других видов, противопоставил себя биосфере и создал условия для антропогенного кризиса.

Беспрецедентными темпами стало сжигаться органическое топливо, накопленное древними биосферами в течение длительной геологической истории. За период с 1950 по 1998 г. потребление различных видов органического топлива, приведенного к нефтяному эквиваленту, возросло по углю в 2.1 раза, нефти – 7.8, природному газу – 11.8 раза. Если в каменном веке расход энергии на одного человека составлял около 4 тыс. ккал/сутки, в период земледельческих технологий – 12 тыс. ккал/сутки, то сейчас – 230–250 тыс. ккал/сутки. Техногенные вмешательства в природную среду стали соперничать со многими природными процессами. Резко возросла добыча твердых полезных ископаемых и, следовательно, массивное воздействие на литосферу. В конце XX в. добывалось и перемещалось при добыче полезных ископаемых около 100 млрд. т породы в год, то есть по 17 т на жителя планеты [2].

Совершенствование агротехники и широкое применение удобрений позволили в XX столетии увеличить урожайность полей в 4 раза, а общий сбор урожая – в 6 раз [3]. Рост продуктов питания и успех медицины способствовали быстрому росту населения. За последние два столетия оно возросло с 1 до 6 млрд. человек. В последние годы население ежегодно увеличивается на 77 млн человек. Прирост населения на Земле идет в основном за счет высокой рождаемости в развивающихся странах, где приходится по 3.1 ребенка на женщину, в то время как в развитых странах этот показатель составляет менее 1.5 детей на одну женщину, что ниже порога замещения, равного 2.1 ребенка на женщину.

Еще более быстрыми темпами развивается урбанизация. Если численность населения планеты, начиная с 1976 г. возрастала в среднем на 1.7 % в год, то население городов увеличивалось ежегодно на 4 %. На территории городов происходит территориально-сосредоточенное воздействие на природную среду. Акселерированный и бесконтрольный рост городов ведет к недопустимому загрязнению воды, почвы и воздуха, поэтому их жители обитают в наименее благоприятной экологической и социальной среде. Кроме того,

урбанизация сопровождается резким снижением ресурса устойчивости городских территорий к воздействию техногенных и техноприродных катастроф.

Деградация природной среды во второй половине XX в. приобрела глобальные масштабы. Несмотря на то, что за 20 лет между конференциями ООН в Стокгольме (1972) и в Рио-де-Жанейро (1992) на охрану окружающей среды было потрачено 1.2 трлн. долл., экологическая обстановка на Земле ухудшается, стабилизация наступила только в лесной промышленности в Европе. В глобальной экономике развиваются две противоположные тенденции: глобальный валовой доход растет, а глобальное богатство (прежде всего жизнеобеспечивающие ресурсы) уменьшается.

Термины "экология" и "экономика" произошли от одного греческого слова – oikos, означающего "дом", в XX в. эти понятия оказались несовместимыми. Промышленное развитие, призванное служить экономическому прогрессу, вошло в противоречие с природной средой, поскольку перестало учитывать реальные пределы устойчивости биосферы.

Возросшая популяция людей поглощает около 40 % энергии от глобальной величины в виде чистой биологической продукции. Тем самым человек лишает пищи огромное число живых организмов и вынуждает их вымирать. Недостаток питания и загрязнение окружающей среды вызывает катастрофически быстрое снижение биоразнообразия на Земле. В настоящее время под угрозой исчезновения находятся 24 % видов млекопитающих и 12 % (1183 вида) птиц. Скорость разрушения биогеоценозов сейчас на два-три порядка выше, чем в прошлые геологические эпохи. С лица Земли исчезли (или близки к исчезновению) до 25 тыс. видов высших растений и более 1 тыс. видов позвоночных. Вымерли тысячи уникальных пород домашних животных [4].

В очевидный тупик пришли традиционные методы самой «зеленой» революции – увеличения продуктивности агросистем за счет их химизации, путем внесения удобрений и химических средств защиты. В среднем, по подсчетам специалистов, каждый день исчезает 50 видов разных организмов, каждую неделю исчезает примерно 2 породы животных. Ожидается, что уже в первое столетие 3-го тысячелетия биосфера может утратить до 10–15 % составляющих ее видов. Вызванный антропогенным воздействием темп вымирания превышает все, что известно на этот счет из палеонтологической летописи [1]. Наиболее опасна общая эрозия генофонда планеты, так как последний может существовать лишь в условиях видового разнообразия, а все идет к его резкому и неотвратимому оскудению.

Несмотря на возросший уровень агротехники, продолжается деградация земель. Почти 23 % всех пригодных для использования земель в мире подвержено разрушению, которое ведет к снижению их продуктивности. В условиях полу-аридного и аридного климата резко интенсифицируется опустынивание. Под угрозой находятся 3.6 млрд. га, то есть 70 % потенциально продуктивных земель засушливой зоны. Проблема опустынивания затрагивает интересы более 80 стран. На подверженных опустыниванию территориях проживают более 600 млн человек [2].

Продолжается уничтожение лесов. За последние 10 лет потеря лесных массивов в мире составила 94 млн га (примерно 2.4 % общей площади). Площадь тропических лесов ежегодно уменьшается на 1 %. По последним данным, взрослые леса с сомкнутой кроной составляют сейчас 21.4 % общей площади суши Земли. В Европе за последние 100 лет сведено почти 50 % лесов и 70 % болот – важнейших природных регуляторов поверхностного стока воды [5].

Деградация природной среды прямым образом влияет на активизацию опасных природных процессов с тяжелыми экологическими последствиями. В 1995–1999 гг. среднее ежегодное количество природных катастроф в мире (в каждой из которых погибло не менее 10 или пострадало не менее 100 человек) возросло по отношению к 1965–1969 гг. более чем втрое. Природные катастрофы сопровождаются крупными материальными потерями. За последние 40 лет они возросли в 9 раз и составляют сейчас около 150 млрд. долл. в год. Суммарная величина экономических потерь только в последнее десятилетие XX в. составила 676 млрд. долл. Ожидается, что к 2050 г. экономический ущерб от опасных природных процессов достигнет 300 млрд. долл. в год [6].

С экономическим ростом напрямую связано производство отходов. Почти 99 % исходного промышленного сырья и изделий из них исключаются из биосферных процессов

и образуют огромную массу отходов, занимая ценные территории и загрязняя окружающую среду. К этому следует добавить, что за годы промышленной революции было синтезировано более 18 млн химических веществ и материалов, большая часть которых чужеродна биосфере и скапливается в отходах. Широкое использование минеральных удобрений способствовало повышению урожайности зерновых, но вызвало нарушение глобального азотного баланса. Дальнейшее наращивание использования пестицидов создает огромную угрозу здоровью миллионов потребителей и хлеборобов. По оценке ВОЗ, ежегодно 3 млн человек отравляются пестицидами и более 200 тыс. умирают при этом; до 25 млн сельскохозяйственных рабочих подвергаются воздействию химических веществ с риском для жизни [6].

Массовый выброс отходов и загрязнение окружающей среды обострили ситуацию с питьевой водой. Около трети населения мира проживает в странах, где наблюдается нехватка пресной воды, а водопотребление превышает на 10 % и более возобновляемые ресурсы питьевых вод. В 2001 г. около 1.1 млрд. человек в мире не имели возможности пользоваться чистой питьевой водой [25].

Чистая вода на Земле – проблема. Почти везде на планете идут кислотные дожди. Водная фауна третьей части всех озер мира уже погибла. В реки втекают потоки загрязненных стоков. Для очищения их требуется 50–100 кратное разбавление чистой водой, т.е. 75–150 тыс. км³, в то время как объем мирового речного стока не превышает 45 тыс. км³. Идет интенсивное загрязнение подземных артезианских вод и озер, даже таких гигантских, как Байкал и Ладога.

Анализ состояния рек, озер и подземных вод показал, что в среднем для Европы ежегодно утрачивается около 15 % возобновляемых водных ресурсов. Распределение водопотребления происходит следующим образом – 53 % (промышленность), 26 % (сельское хозяйство), 19 % (бытовое водопотребление), 65 % населения обеспечивается водой из подземных источников, в результате чего для многих из них типичен запороговый уровень эксплуатации и снижающийся уровень качества вод. На большей части континента нарушены стандарты ЕС по ПДК нитратов и пестицидов в питьевой воде. Широко распространилась антропогенная эвтрофикация рек и озер. Для большей части северных стран характерен высокий уровень закисления водоемов.

В шести основных европейских морях (Средиземное, Черное, Баренцево, Норвежское, Балтийское, Северное) и в Северной Атлантике отсутствует эффективное управление процессами на водосборах; загрязнены прибрежные зоны; идет процесс эвтрофирования; существуют конфликтные ситуации в использовании ресурсов прибрежных зон; происходит заселение новыми видами организмов; отсутствует контроль над различными видами деятельности в прибрежных зонах; идет чрезмерно интенсивная эксплуатация морских ресурсов; возможно повышение уровня моря в результате глобального потепления.

Данные наблюдений указывают на то, что все моря (за исключением субарктических) подвержены эвтрофированию. Концентрация нитратов в прибрежных водах Черного и Азовского морей возросла в 2–3 раза. Следствием недостаточного контроля за деятельностью в прибрежных зонах Балтийского, Черного и Каспийского морей является их сильное загрязнение. Загрязнение Северного моря оказало губительное воздействие на ряд представителей его фауны. В Средиземном море оказались под угрозой исчезновения некоторые эндемичные виды.

Несмотря на рост экономики и валового продукта, усиливаются тенденции, свидетельствующие о наступающем кризисе в социально-экономической сфере. Получаемые доходы распределяются крайне неравномерно. Соотношение в доходах богатых людей и беднейших слоев населения выросло с 13 : 1 в 1960 г. до 60 : 1 в 1990 г. и 74 : 1 в 1997 г. На одну пятую часть населения мира, проживающего в странах с наибольшими доходами, приходится 86 % мирового валового продукта. Около четверти населения в мире ежедневно голодают. Следствием бедности и неустроенности людей стала растущая миграция. В последние годы увеличилось потоки "экологических беженцев" – людей, покинувших места проживания по экологическим причинам. В 1998 г. их количество впервые превысило число лиц, перемещающихся по другим причинам [2]. Система сверхпотребления «золотого миллиарда» грозит катастрофой всему человечеству (основной

вывод Всемирной конференции по устойчивому развитию представителей 195 стран в г. Йоханнесбурге-ЮАР, 26 августа – 4 сентября 2002 г.; рис. 1).

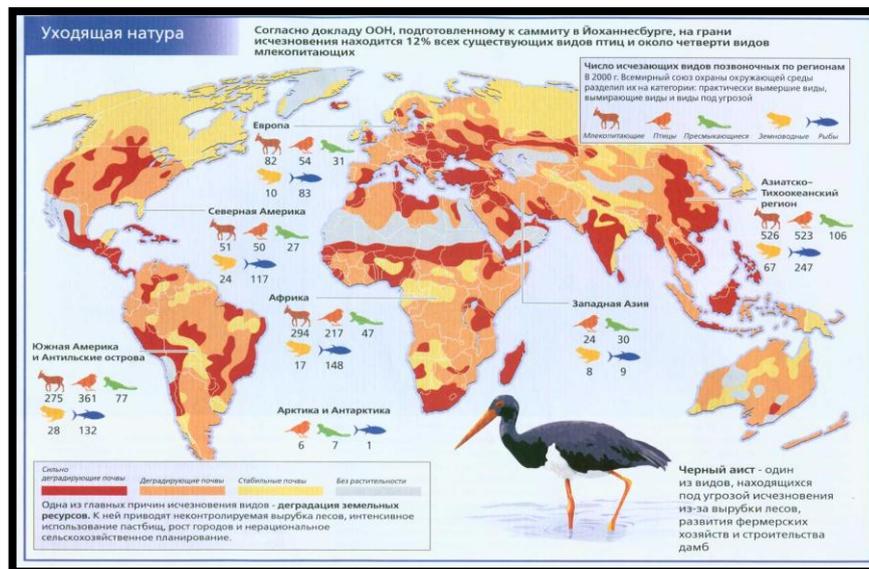


Рис. 1. Материалы Всемирной конференции по устойчивому развитию представителей 195 стран в г. Йоханнесбурге-ЮАР, 26 августа – 4 сентября 2002 г.

Агросфера – часть биосферы, которую человек использует для сельскохозяйственного производства. В настоящее время агросфера вступила в очевидный конфликт со стабильностью биосферы. Пашней занято 10 % суши, сенокосами и пастбищами – еще 20 %. Во многих районах планеты ее ресурсы исчерпаны и дальнейшее увеличение доли агросферы невозможно [25].

Однако народонаселение Земли увеличивается, растет и потребность в продуктах питания. Развитие сельскохозяйственных технологий и распространение их на все континенты разрушает биоразнообразие. Биомасса создаваемых агроценозов, например на месте леса, никогда не достигнет биомассы леса. Продуктивность агроценозов уступает продуктивности естественных экосистем. В экосистемах, где доминирует человек, теряется до трети первичной продукции. Не говоря о том, что современные сельскохозяйственные технологии ведут к разрушению почвы, загрязнению воды и т.д. Наглядный пример – расцвет численности многих видов после снятия антропогенного давления в зоне отчуждения в Чернобыле. Особое значение приобретают экологические последствия животноводства. Наглядным примером этого, в частности, являются исследования, выполненные в Китае, по оценке нагрузки на почвы нерастворимых солей фосфора в регионах расположения большого количества свиноводческих ферм (рис. 2).

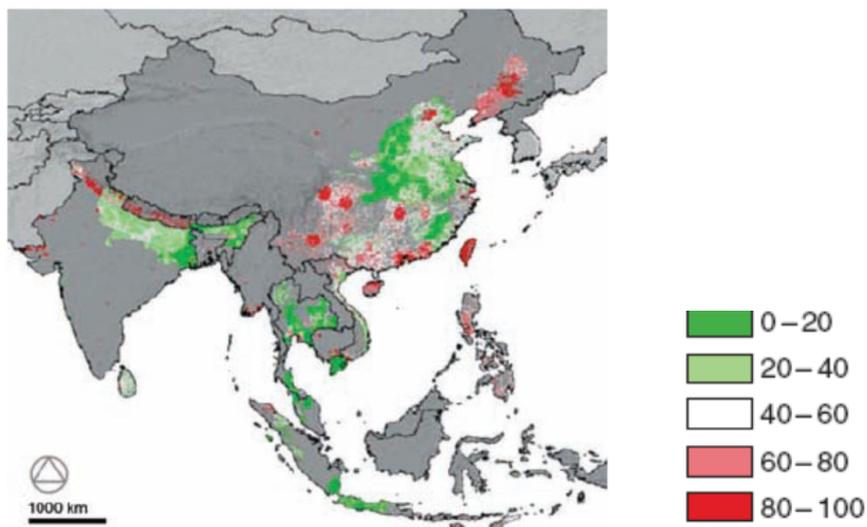


Рис. 2. Оценки превышения содержания фосфатов (P_2O_5) в почвах по сравнению с фоновым уровнем удобрений (в %) (цитируется по Herrero M., Thornton P. K., Notenbaert A. M. et al. Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems // Science. 2010. Vol. 327. P. 822–825)

Всего же в сельское хозяйство вовлечено 4.5 млрд. га земли, где трудятся 2 млрд. человек. Из них под зерновым клином находится 1.5 млрд. га. Резервных площадей для экстенсивного развития отрасли практически нет, весь необходимый прирост продукции возможен лишь за счет интенсификации производства. Народонаселение Земли увеличивается, растет и потребность в продуктах питания, их необходимо увеличить к 2025 году в два раза.

Группа американских ученых – Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, И. Рэндерс и В.В. Беренс (1991) разработала математическую модель мировой системы биосферы на период XX–XXI столетий по пяти основным параметрам: население, ресурсы, промышленная продукция, продукты питания и загрязнения. Согласно этой модели, если темпы народонаселения, экономики, скорости истощения природных ресурсов будут такими же, как в проследние десятилетия, то мировая система потерпит катастрофу из-за истощения ресурсов в 2020–2040 гг. Допустимая максимальная численность населения на уровне 7.7 млрд человек должна стабилизироваться и оставаться постоянной.

2. Изменение вклада растительных и животных ресурсов в пищевое обеспечение человека.

Первая Всемирная продовольственная конференция состоялась более 30 лет назад, в 1974 г. На ней было подсчитано, что в мире существовало 840 млн жертв хронического недоедания. Вопреки сопротивлению многих, она впервые провозгласила “неотъемлемое право человека на свободу от голода”. Итоги реализации этого права были подведены на Всемирном продовольственном форуме в Риме 22 года спустя. Он зафиксировал крах надежд мирового сообщества на обуздание голода, так как положение на фронте борьбы с этим социальным злом осталось без перемен. В связи с этим римская встреча наметила более скромные цели – снизить количество голодающих к 2015 г хотя бы до 400 млн человек.

С тех пор эта проблема еще больше обострилась. Как отмечалось в докладе генсека ООН Кофи А. Анана “Предотвращение войн и бедствий”, сегодня прожиточный уровень свыше 1,5 млрд чел. – менее доллара в день, 830 млн страдают от голода. За период 1960–2000 гг. производство всех видов сельскохозяйственной продукции увеличилось с 3,8 млрд. до 7,4 млрд. т. Однако количество продовольствия, произведенного в среднем на 1 человека, осталось неизменным (1,23 т/чел). В настоящее время в мире недоедает почти половина населения, а четвертая часть голодает. В странах Западной Европы, Северной Америки и в Японии, где наибольшее распространение получила преимущественно химико-техногенная

интенсификация сельского хозяйства и проживает менее 20 % населения земного шара, в пересчете на каждого человека расходуется в 50 раз больше ресурсов по сравнению с развивающимися странами и выбрасывается в окружающую среду около 80 % всех вредных промышленных отходов (доклад комиссии ВОЗ), что ставит на грань экологической катастрофы все человечество.

Сельское хозяйство — уникальный вид человеческой деятельности, главной целью которой оставался рост производства его продукции. В настоящее время наблюдается замедление роста урожайности, сокращения пашни с 0,24 га в 1950 г. до 0,12 га на человека, отчетливо начинает ощущаться дефицит и загрязнение водных ресурсов, изменения климата. Кроме того, наблюдается увеличение затрат невозобновимой энергии на единицу растениеводческой продукции. Отмечено падение продуктивности зерновых (по Tilman et al., 2002 [25]). С 1960 г. по 2000 г. глобальная продуктивность зерновых возросла примерно в 2,3 раза в том числе и в расчете на 1 гектар, однако вклад в увеличение урожайности зерновых с 1960 по 2000 г. увеличился: воды в 2 раза; азотистых удобрений в 10 раз; фосфорных удобрений в 7,5 раз; пестицидов в 6 раз. Эффективность вклада азотистых удобрений в получение урожая зерновых с 1960 г. по 2000 г. УПАЛА в 4 раза. Наблюдается усиление зависимости вариабельности величины и качества урожая от нерегулируемых факторов внешней среды, доля которых по основным зерновым культурам превышает 60 %.

В то же время, потери урожая обусловлены вредителями сельскохозяйственных видов растений. Для 3–4 тыс. используемых человеком "культурных" растений известно около 30 тыс. видов патогенов: 25 тыс. грибковых болезней, 600 вызывают черви-нематоды, более 200 — бактерии, более 300 — вирусы. У риса и пшеницы известны по 100 возбудителей болезней, у кукурузы — 60, у ячменя и сорго — по 50. Из-за них еще до сбора урожая теряются 10–15 % зерна. Различные паразиты, в том числе насекомые, и сорняки доводят объем предуборочных потерь уже до 25–40 %. В мире из-за насекомых теряется 14 % урожая, заболеваний растений, вызванных червями и грибами, — 12 %, сорняков — 9 % и 10 % уничтожаются грызунами. Предуборочные потери зерновых составляют 1800 млн т. А после уборки в процессе транспортировки и хранения гибнут еще 5–25 % урожая. И получается, что в развитых странах суммарные потери достигают 40 %, в развивающихся, по вполне понятным причинам, они превышают 50 % возможного урожая. Перечисленные выше причины делают объяснимой наблюдаемую в последние годы динамику уменьшения вклада растительной продукции по сравнению с животной на одного человека.

3. Некоторые причины уменьшения продуктивности растениеводства.

Одна из главных причин уменьшения продуктивности растениеводства — это конфликт между плодородием почв и их сохранностью.

За 100 последних лет эрозия и другие процессы, вызывающие деградацию почвы, вывели из пользования 27 % (2 млрд. га) сельскохозяйственных угодий. Для США, в частности, цифра потерь из-за эрозии составляет 120 млн га в год, Франции — 5, а в бывшем СССР — 152 млн га, или 2/3 всех пахотных земель, находится в эрозийно-опасном состоянии. В Украине каждый год подвергаются эрозии 200 тыс. га. В течение последних 20 лет человечеством потеряно свыше 15 % плодородного почвенного слоя [7].

Процесс опустынивания охватил 19 % (около 30 млн км²) всей суши планеты и распространяется на новые территории со скоростью 50 тыс. км² в год, представляя прямую угрозу сельскому хозяйству по меньшей мере 150 стран. Ученые полагают, что 87 % ежегодного прироста пустынь обусловлено антропогенным давлением на природу, и только 13 % — естественными факторами. Современное состояние деградации почв, лежащее в основе уменьшения продуктивности растениеводства, документируется низким уровнем растительной продукции в большинстве регионов Земли [7], сниженным количеством гумуса [7], а также большим количеством областей, полностью лишенных растительности [4]. Интересно отметить, что расположение современных пустынь достаточно хорошо совпадает с центрами происхождения сельскохозяйственных видов животных и растений [8].

Другой причиной снижения продуктивности растениеводства является истощение генетического разнообразия в результате сужения круга используемых сортов в глобальном масштабе, вытеснения стародавних сортов, накопления генетического груза. В мировых

генБанках культурных растений собраны миллионы образцов, только 1 % из них исследован в отношении их потенциальных свойств [9, 10]. Наблюдаются два типичных конфликта в современных сортах: между «чистотой» сортов и частотой спонтанных мутационных событий, частотой рекомбинаций – скоростью «вырождения» сорта; между величиной урожайности и устойчивостью к естественным средовым изменениям.

Выражение “зеленая революция” употребил впервые в 1968 г. директор Агентства США по международному развитию В. Гауд, пытаясь охарактеризовать прорыв, достигнутый в производстве продовольствия на планете за счет широкого распространения новых высокопродуктивных и низкорослых сортов пшеницы и риса в странах Азии, страдавших от нехватки продовольствия. Она ознаменовала собой начало новой эры развития сельского хозяйства на планете, эры, в которую сельскохозяйственная наука смогла предложить ряд усовершенствованных технологий в соответствии со специфическими условиями, характерными для фермерских хозяйств в развивающихся странах. Это потребовало внесения больших доз минеральных удобрений и мелиорантов, использовании полного набора пестицидов и средств механизации, в результате произошел экспоненциальный рост затрат исчерпаемых ресурсов на каждую дополнительную единицу урожая, в том числе пищевую калорию. Это было достигнуто благодаря переносу в создаваемые сорта целевых генов, чтобы увеличить прочность стебля путем его укорочения, добиться нейтральности к световому периоду для расширения ареала возделывания и эффективной утилизации минеральных веществ, особенно азотных удобрений. Работа, начатая Н. Борлаутом (Нобелевского лауреата за эти работы) и его коллегами в Мексике в 1944 г., продемонстрировала исключительно высокую эффективность целенаправленной селекции по созданию высокоурожайных сортов сельскохозяйственных растений. Уже к концу 1960-х годов широкое распространение новых сортов пшеницы и риса позволило многим странам мира (Мексике, Индии, Пакистану, Турции, Бангладеш, Филиппинам и др.) в 2–3 и более раз увеличить урожайность этих важнейших культур. Однако вскоре обнаружились и негативные стороны “зеленой революции”. Замена генетически разнообразных местных сортов новыми высокоурожайными сортами и гибридами с высокой степенью ядерной и цитоплазматической однородности значительно усилила биологическую уязвимость агроценозов, что было неизбежным результатом обеднения видового состава и генетического разнообразия агроэкосистем [11]. Массовому распространению вредных видов, как правило; способствовали и высокие дозы азотных удобрений, орошение, загущение посевов, переход к монокультуре, минимальным и нулевым системам обработки почвы и т.д. Благодаря, в частности, селекционной работе, древнее природное разнообразие местных видов заменено ныне небольшим числом специально выведенных и почти насильно внедряемых сортов, выращиваемых на обширнейших пространствах. 96 % урожая гороха в США получается всего от двух его разновидностей, а 71 % урожая кукурузы — от шести ее сортов. Используют великолепные по продуктивности сорта, но они, к сожалению, становятся все более подверженными различным заболеваниям, таким, к примеру, как картофельная гниль. Растения приходится усиленно “лечить” пестицидами и прочими опасными для окружающей среды и самого человека средствами. Более того, серьезной проблемой становится сужение разнообразия источников питания для человека: из огромного разнообразия растений, кормивших человека 10 тысяч лет назад, сегодня основу питания (85 %) составляет всего пять видов растений.

Здоровье человека определяется, в основном, наследственной предрасположенностью (генетикой) и питанием. Во все времена создание продовольственной базы было залогом и основой процветания любого государства. Поэтому любое государство заинтересовано в проектах профилактики и оздоровительных программах, улучшении структуры питания, повышении качества жизни, снижении заболеваемости и смертности. Биоразнообразие, т.е. максимальное разнообразие пищи, обеспечивает разнообразие химического состава питания физиологическим потребностям человека в пищевых веществах (около 600 наименований). Потребляемая пища должна содержать белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные соли, воду, клетчатку, ферменты, вкусовые и экстрактивные вещества, минорные компоненты - биофлавоноиды, индолы, антоцианиды, изофлавоны и многие другие. В случае недостаточности хотя бы одного из этих компонентов, возможны серьезные нарушения

здоровья. И, чтобы этого не случилось, суточный рацион человека должен включать примерно 32 наименования различных пищевых продуктов [12, 13].

Оптимальное соотношение поступающих в организм пищевых веществ способствует сохранению здоровья и долголетия. Но, к сожалению, для большинства населения Земли характерен дефицит следующих пищевых веществ: полноценных (животных) белков; полиненасыщенных жирных кислот; витаминов С, В₁ В₂, Е, фолиевой кислоты, ретинола, р-каротина и других; макро- и микроэлементов: Са, Fe, Zn, F, Se, I и других; пищевых волокон. Дефицит потребления белка для большинства населения составляет в среднем 20 %, содержание большинства витаминов и микроэлементов на 15–55 % меньше расчетных величин потребности в них, а пищевых волокон – на 30 % ниже. Нарушение пищевого статуса неминуемо ведет к ухудшению здоровья и как следствие – к развитию заболеваний. Если принять все население Российской Федерации за 100 %, здоровых окажется только 20 %, людей в состоянии маладаптации (с пониженной адаптационной резистентностью) – 40 %, а в состоянии предболезни и болезни – по 20 % соответственно [14].

Среди наиболее распространенных алиментарно зависимых заболеваний можно выделить такие: атеросклероз; гипертоническая болезнь; гиперлипидемия; ожирение; сахарный диабет; остеопороз; подагра; некоторые злокачественные новообразования.

Анализ ситуации, сложившейся за последние годы в агропромышленном комплексе России, указывает на снижение проживающего населения и падения производства всех видов сельскохозяйственной продукции более чем в 1,5 раза. При сохранившихся общих объемах природных и трудовых ресурсов кризис вызвал резкое ухудшение использования пахотных земель, снижение продуктивности агроэкосистем, из оборота выведено более 30 млн га высокопродуктивных агроценозов [9, 10].

Меры, принимавшиеся до сих пор для стабилизации положения, оказались недостаточными на рынке сельскохозяйственной продукции. И импорт продовольствия превысил все разумные пределы и поставил под вопрос продовольственную безопасность.

Исходя из значимости оптимизации структуры питания для здоровья нации, развития и безопасности страны, разработаны приоритетное направление для улучшения питания населения России: ликвидация дефицита полноценного белка; ликвидация дефицита микронутриентов; создание условий для оптимального физического и умственного развития детей; обеспечение безопасности отечественных и импортных пищевых продуктов; повышение уровня знаний населения в вопросах здорового питания.

Научной основой современной стратегии производства пищи служит изыскание новых ресурсов, обеспечивающих оптимальное для организма человека соотношение ее химических компонентов. Решение этой проблемы в первую очередь состоит в поиске новых источников белка и витаминов, с учетом экологической безопасности и необходимости уменьшения вклада в процесс их получения невозможных природных ресурсов. Одним из таких направлений является ускоренное развитие аквакультур.

Хотя площадь суши вдвое меньше, чем площадь, занимаемая океанами, ее экосистемы имеют годовую первичную продукцию углерода более чем вдвое превышающую таковую Мирового Океана (52,8 млрд. тонн и 24,8 млрд. тонн соответственно). По относительной продуктивности наземные экосистемы в 7 раз превышают продуктивность экосистем океана. Из этого, в частности, следует, что надежды на то, что полное освоение биологических ресурсов океана позволит человечеству решить продовольственную проблему, не очень обоснованы. По-видимому, возможности в этой области невелики – уже сейчас уровень эксплуатации многих популяций рыб, китообразных, ластоногих близок к критическому, для многих промысловых беспозвоночных – моллюсков, ракообразных и других, в связи со значительным падением их численности в природных популяциях, стало экономически выгодным разведение их на специализированных морских фермах, развитие аквакультуры. Примерно таково же и положение со съедобными водорослями, такими как ламинария (морская капуста) и фукус, а также водорослями, используемыми в промышленности для получения агар-агара и многих других ценнейших веществ. Использование ресурсов Мирового Океана усложнено еще и межгосударственной конкуренцией за его ресурсы, за право использования морских рыбных ресурсов и морепродуктов. Это проявляется в активном развитии добывающего флота, увеличении добычи морской рыбы за счет промысловых пелагических рыб: минтай, ставрида, сардинелла, сардины, анчоусы. Их доля

в мировом вылове рыбы составляет более 25 %, однако стоимость – 6 % от стоимости мирового улова. Запасы этих рыб в настоящее время недоиспользуются. Около 80 % стоимости мирового улова приходится на 13 самых ценных видов рыб и беспозвоночных, большая часть которых находится под чрезмерным давлением промысла. Очевидно, что это сопровождается уменьшением промысловых запасов рыб. Примерно 52 % промысловых видов рыб подвергаются чрезмерному лову, 16 % – перелавливаются, 7 % – находятся под угрозой исчезновения из-за резкого сокращения популяций. Все это, естественно, приводит к повышению спроса и цен на рыбную продукцию и морепродукты. В общем, к основным факторам, препятствующим устойчивому промыслу в Мировом океане, относятся такие как использование избыточного промыслового усилия, вызывающего уменьшение многих рыбных запасов и не позволяющего осуществлять эффективное и устойчивое рыболовство в долгосрочной перспективе; выброс в море прилова и отходов от рыбопереработки; деградация окружающей среды, в том числе водной, в прибрежных зонах. К выраженным тенденциям развития мирового рыбного хозяйства можно отнести форсированное принятие новых международно-правовых документов, имеющих обязательный либо строго рекомендательный характер для всех государств, осуществляющих промысел как в своей 200-мильной зоне, так и в открытых районах Мирового океана. Цель – создание единых, обязательных для всех государств принципов и норм, применение которых должно создавать надлежащие условия для устойчивого развития рыбного хозяйства. Очевидно, что в этих условиях наблюдается ориентация развитых стран на ускоренное развитие аквакультуры как в пресноводных водоемах, так и в морской среде. Это важнейшее и весьма перспективное направление позволит действительно создать устойчивое поступление рыбной продукции и морепродуктов как на национальный, так и на мировой рынок.

Развивающиеся страны и страны с переходной экономикой стремятся в первую очередь к продовольственной независимости. Они хотят производить пищу сами, а не зависеть от других стран, ибо продовольствие – это, пожалуй, самое грозное до сих пор политическое оружие и оружие давления в современном мире (пример - Россия, которая ввозит до 40 процентов продовольствия). Чтобы удвоить производство продовольствия и снять зависимость, необходимы новые технологии, переход от экстенсивного развития агроэкосистем к интенсивному.

4. Экологическая или ландшафтная геномика – объединение геномного сканирования и геоинформационных технологий.

Экологическая или ландшафтная геномика – формирующаяся область, которая соединяет много типов данных, собранных из разных источников, метеорологической информации и геологических карт. Эти многомерные данные наслаиваются друг на друга, что позволяет проводить комплексные исследования. Генетические данные могут быть также включены как отдельный слой, который может использоваться для понимания механизмов распределения нейтральных генетических изменений и генных потоков [20]. Сравнения между географическими распределениями нейтральных аллелей и аллелей, предположительно вовлекаемых в локальную адаптацию, может использоваться для выявления факторов и направлений действия естественного отбора.

Джуст и др. [19] недавно разработали методологию для использования GIS в целях сравнения географических и генетических данных в целях выявления связей распределения аллелей со специфическими экологическими факторами. В то время как такие разработки являются существенным шагом вперед, необходим всесторонний анализ и развитие методов учета пространственного распределения аллелей относительно распределения экологического разнообразия и барьеров к распространению генного потока. Большие надежды связываются с тем, что многомерная географическая информация, объединенная с популяционно-генетическими моделями, может обеспечить более обоснованные исследования естественного отбора на ландшафтном уровне. Далее, полевые исследования для ‘обоснования правдивости’ гипотезы, так же как предварительное определение их условий очень важны для любых ландшафтных исследований и такие условия должны быть тщательно рассмотрены прежде, чем популяции отбираются для анализа.

Недавние исследования по популяционной генетике человека позволяют оценить, что можно обнаружить в результате ландшафтной эволюционной геномики. Кооп и др. [17]

исследовали глобальные частоты аллелей в многочисленных популяциях по сотням тысячам мононуклеотидных полиморфизмов, чтобы искать мишени отбора. В целом, очень немного генов в геноме человека имели существенные отличия по частотам аллелей среди популяций. Это может свидетельствовать о том, что отбор действует только на немногие локусы. Альтернативно, локальный отбор может иметь более широкие эффекты и адаптивные фенотипические изменения могут достигаться через небольшие изменения аллельных частот во многих локусах.

5. Примеры использования ландшафтной геномики в исследованиях сельскохозяйственных видов животных.

В последние годы получен ряд данных с использованием методов ландшафтной геномики, позволившие получить новую информацию о путях расселения сельскохозяйственных видов животных, позволяющих исследовать связь между особенностями генетической структуры пород и внутривидовых групп и особенностями эколого-географических регионов их расселения. Так, выполнен сравнительный анализ географического распределения аллельных вариантов по 26 мононуклеотидных полиморфизмов (Single Nucleotide Polymorphisms – SNP), локализованным в структурных генах, у 16 пород коз Италии, Албании и Греции. В конечном итоге суммарно генотипировано и проанализировано 12896 генотипов у 496 особей [22]. Статистический анализ позволил выявить существенную корреляцию между генетическими дистанциями, рассчитанными на основании распределения аллельных вариантов и географическими расстояниями между исследованными группами животных разных пород. Кроме того, кластерный анализ показал, что породы по генетической структуре сгруппированы согласно географическому происхождению, за исключением греческой породы скопелос. Авторы приходят к выводу о том, что история географических перемещений животных играла основную роль в формировании современной генетической структуры пород. Движущееся на запад потоки животных по прибрежному маршруту в Италию через Грецию, возможно, привел к формированию потока генов исследованных пород коз вдоль Северного Средиземноморья. По ряду ДНК маркеров обнаруживается статистически достоверная корреляция между распределением аллелей ряда молекулярно-генетических маркеров и изменчивостью некоторых экологических показателей условий разведения коз и овец (рис. 3).

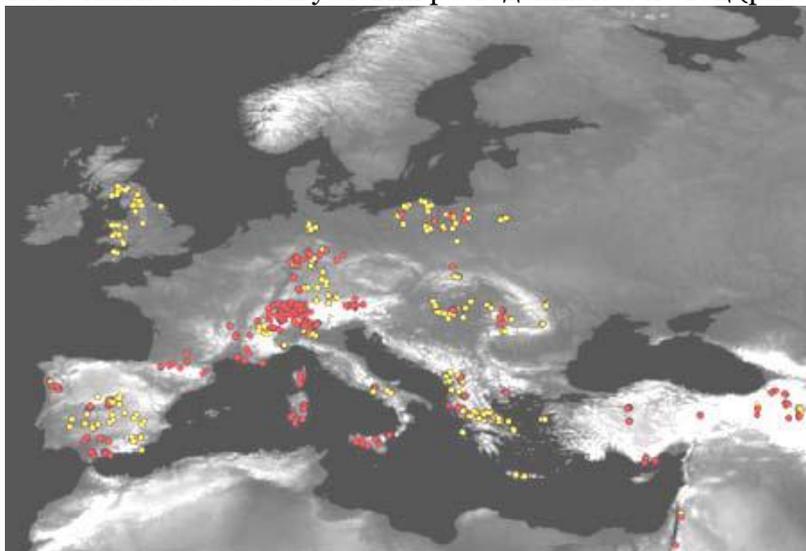


Рис. 3. Результаты исследования пространственного распределения генотипов у овец (желтым) и коз (красным) по 30 микросателлитам, 100 AFLPs и 30 SNP, в связи с изменчивостью около 100 средовых переменных. Наибольшая связь выявлена между рядом маркеров со средовыми переменными, связанными с адаптацией к влажной среде (в частности, коэффициент вариации количества осадков, количество дождливых дней, относительная влажность, солнечная освещенность и средние пределы сезонных температур, цитируется по [19], Проект Эконоген)

Во времена быстрых глобальных и непредвиденных экологических изменений необходимо развитие жизнеспособной политики сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных видов животных, основанной на глобальном их анализе. Большинство местных пород адаптированы к особенностям среды обитания и локальным условиям производственной системы, однако они быстро исчезают. В то же время, именно они представляют важный генофондный ресурс для решения возникающих новых селекционных задач и проблем адаптации к новым экологическим условиям. В этой связи, на основании оценок полиморфизма и генотипов по 105 микросателлитных локусов выполнен сравнительный анализ генетических структур 16 пород крупного рогатого скота, покрывающих географический район от средиземноморского центра доместикации, от Анатолии, через балканский и альпийский регионы, на Северо-Запад Европы [21]. В анализ включены заводские, коммерческие породы, находящиеся под влиянием интенсивного искусственного отбора и местные породы, воспроизводящиеся по традиционным схемам размножения. Обнаружено, что наибольшее генетическое разнообразие наблюдается у древних местных пород, связанных с подольским отродьем серого степного скота в районах Анатолии, и породами балканских областей, по сравнению с альпийскими и северо-западными европейскими породами. В традиционных породах сохраняется наибольшее количество редких аллельных вариантов, отражающие исходно их большую эффективную численность. Полученные данные свидетельствуют об особой важности сохранения местных, генетически гетерогенных пород, близких к исходным центрам доместикации животных, с позиций необходимости разработки глобальной и долгосрочной стратегии сохранения генетических ресурсов животных не только для крупного рогатого скота, но также и для других сельскохозяйственных видов.

Известно, что в будущих десятилетиях условия для производства продовольствия, особенно для молочного животноводства, будут существенно меняться в случае прогнозируемых климатических изменений, в частности, повышения температуры. Особенно это актуально для молочного животноводства Австралии. В этом регионе достаточно давно известно, что племенная ценность животных, оцениваемая в том числе и по продуктивности потомков, в молочном скотоводстве может существенно меняться в зависимости от температурного режима их содержания. В целях поиска возможных генетических механизмов адаптации животных молочных пород к повышенным температурам в Австралии были выполнены геномные исследования в разных регионах Австралии, отличающихся по метеорологическим данным [18]. При потеплении климата предполагается, что в связи с дефицитом воды будут также возрастать и энергетические затраты на получение молочной продукции. В целях поиска молекулярно-генетических маркеров, ассоциированных с устойчивостью к высоким температурам общих характеристик молочной продуктивности, выполнен анализ результатов геномного сканирования с использованием оценок генотипов по нескольким тысячам сайтов мононуклеотидного полиморфизма (SNP) с данными по устойчивости молочного производства к разным условиям окружающей среды. Были объединены данные по молочному производству, метеорологии и множественными генотипами у родителей и дочерей, дающих молоко в широком диапазоне производственных условий в Австралии (рис. 4).

Диапазоны молочного производства в Австралии варьируют от полностью пастбищных систем, до основанных только на откормочных площадках, и от тропического до умеренного климата. В работе использовались три группы данных – записи о суточном удое в первую лактацию 62343 голштинофризских коров – потомков 798 быков, такие же записи о суточном удое 35293 коров джерсейской породы, дочерей 364 джерсейских быков, и база данных австралийского геоинформационного проекта (Квинслендское управление Министерства по вопросам охраны окружающей среды и ресурсов - Queensland Department of Environment and Resource Management DataDrill), в котором объединены карты по температуре и влажности по всей Австралии. Эти данные позволяли вычислять индекс температуры и влажности в дни доения коров и оценивать для них влияние на продуктивность и потребление корма высокой температуры. В предыдущих работах этих же авторов было показано, что по изменению частоты дыхания стрессующие эффекты обнаруживаются у животных молочных пород, когда индекс температуры/влажности превышает 60 единиц. Далее авторы сравнили чувствительность дочерей конкретных быков

по изменению удоя и потребления кормов в зависимости от индекса температуры/влажности. На следующем этапе 798 голштино-фризских быков и 364 джерсейских быков были генотипированы с использованием ДНК матриц (Illumina BovineSNP50 beadchip), включающих 56000 SNP. В конечную выборку, включенную в анализ, входили геномы 781 и 362 быков обеих пород, соответственно, генотипированные по 39048 SNP. Был выполнен анализ ассоциаций между генетически сцепленными SNP и чувствительностью дочерей быков по молочной продуктивности к изменениям индекса влажности/температуры и выделены районы, фланкированные SNP, полиморфизм которых статистически достоверно ассоциирован с такой изменчивостью.

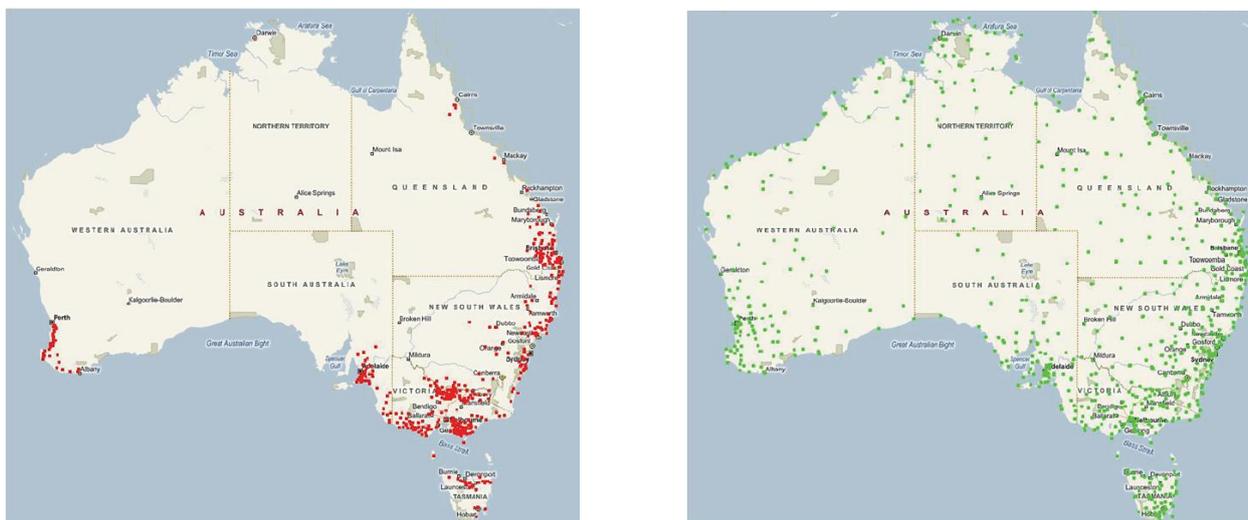


Рис. 4. Локализация молочных ферм (слева), на которых собирались данные по молочной продуктивности, и станции контроля метеоусловий и климатических характеристик (справа). На основании корреляционного анализа выявлены статистически достоверные ассоциации между резистентностью к температуре по молочной продуктивности и генотипами по гену фактора контроля роста фибробластов, участвующего в контроле пролиферации эпителия молочной железы, а также резистентности по молочной продуктивности к пониженному уровню кормов и генотипами по глицерол-3 фосфатдегидрогеназы, фермента, участвующего в контроле синтеза липидов (цитируется по [18])

Наиболее выраженная такая связь у обеих исследованных пород обнаруживалась в районах хромосом 9 и 29. Далее, с использованием данных ГенБанка, была выяснена локализация в этих районах структурных генов. Один из таких маркеров, наиболее тесно связанный с чувствительностью молочной продуктивности к индексу влажности/температуры, был локализован на хромосоме 29 в районе расположения фактора роста фибробластов 4 (FGF 4). Этот ген участвует в регуляции контроля выхода в апоптоз клеток эпителия молочной железы в процессах ее развития и инволюции после прекращения лактации. Интересно, что у человека описана экспрессия этого же гена, кроме эпителия молочной железы, еще и в эпителии яичек, в которых его транскрипция существенно увеличивается при повышении температуры и предполагается, что этот ген выполняет протекторную роль для половых клеток, защищая их от повреждающих эффектов гипертермии. Наиболее отчетливо ассоциированный ген – кандидат с изменчивостью по чувствительности животных к разным индексам влажность/температура обнаруживается на хромосоме 9 в районе локализации гена фермента глицерол-3-фосфатдегидрогеназы-1 (G3PD-1), участвующего в углеводном и липидном метаболизме и являющемся ключевым геном энергообеспечения клеток. Известно, что у мышей с нормальной активностью этого фермента длительная углеводная диета приводит к гипергликемии, гиперинсулинемии и островковой гиперплазии в поджелудочной железе, в отличие от мышей, мутантных по этому гену, у которых нет таких проявлений, зато

увеличивается чувствительность к инсулину. Учитывая тот факт, что чувствительность к инсулину существенно отличается у коров, различающихся по ответу по молочной продукции на уровень кормления, авторы этого исследования предполагают, что SNP мутации в этом гене – кандидате (G3PD-1) или в областях, связанных с регуляцией его экспрессии, могут приводить к изменению инсулиновой чувствительности и, в свою очередь, к изменениям молочной продуктивности в ответ на уровень потребления корма у коров. Таким образом, в результате выполненных исследований с использованием геномного сканирования и GIS технологий авторам удалось выявить два гена – кандидата контроля изменчивости по молочной продуктивности в ответ на изменения влажности/температуры у животных двух специализированных молочных пород крупного рогатого скота.

Заключение

Таким образом, полученные в последние годы принципиально новые экспериментальные возможности позволяют выяснять, какие геномные участки вовлечены в адаптацию к различным условиям среды обитания. Однако до сих пор неизвестно, как происходит смена приспособленности отдельных локусов в разных местах ландшафта, как географические барьеры влияют на распространение адаптивных по сравнению с нейтральными аллелями и является ли дифференциация между экотипами результатом фиксации адаптивных аллелей или итогом накопления небольших изменений в частотах аллелей во многих локусах. Несомненно, полное понимание адаптации в ландшафтном масштабе – монументальная задача даже для одной популяции. Сформированная средой обитания адаптация почти неизменно вовлекает разнообразные фенотипические изменения, каждое из которых имеет сложную генетическую обусловленность. Эта сложность еще увеличивается, если к нему добавляется ландшафтный уровень экологических изменений. Понимание адаптации на уровне естественного ландшафта может быть особенно трудным для полигенных признаков, по которым адаптация происходит через небольшие аллельные сдвиги по многим локусам. Тем не менее, даже в этом случае имеется несколько хороших примеров успешного соединения данных о распределении функциональной наследственной изменчивости и выраженных ландшафтных особенностей [16, 23, 24]. Чем больше генетических систем включаются в анализ в геномную эру, тем более будет понятно, как мозаика естественного ландшафта формирует геномы бесконечно разнообразных организмов.

Материал, представленный в статье, доложен на Международной научно-практической конференции «Биотехнология и качество жизни» 18–20 марта 2014 г. Правительство Москвы. Московский международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития».

Примечания:

1. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: ИКЦ – Академкнига, 2003. 431 с.
2. Власов В.И. Глобальная продовольственная проблема. К.: Институт аграрной экономики, 2001. 505 с.
3. Глазко В.И. Генетически модифицированные организмы: от бактерий до человека. К.: КВИЦ, 2002. 210 с.
4. Доклад в Йоханнесбурге «Всемирная конференция по устойчивому развитию представителей 195 стран в г. Йоханнесбурге, ЮАР, 26 августа – 4 сентября 2002 г.».
5. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). М.: «Агрорус», 2001. Т. I и II.
6. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика). М.: «Агрорус», 2004. Т. I и II.
7. Кулаков М.В. "Зеленая революция" и голод в Латинской Америке. М.: МГУ, 1984. 169 с.
8. Куценко Л.М., Пискаренко В.Н. Охрана окружающей среды. К.: Урожай, 1991. 111 с.
9. Мир в цифрах. Статистический сборник. М.: Финансовый инжинеринг, 1992. 456 с.

10. На пороге XXI века. Доклад о мировом развитии 1999/2000: Пер. с англ. М.: Весь мир, 2000. 277 с.
11. Найяр Д. Глобализация и стратегия развития. "Круглый стол высокого уровня по торговле и развитию. Ориентиры на XXI. Доклад на конференции ООН по торговле и развитию ЮНКТАД Х. Бангкок, 2000. 33 с.
12. Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. М: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 230 с.
13. Яблоков А.В. Атомная мифология. Заметки эколога об атомной индустрии. М.: "Наука", 1997. 272 с.
14. Янкевиц Я.Я. Продовольственные проблемы населения мира //Продовольственные проблемы населения мира. М.: Знание, 1982. С. 11-42.
15. Beck J., Sieber A. Is the Spatial Distribution of Mankind's Most Basic Economic Traits Determined by Climate and Soil Alone? // PLoS ONE 5(5): e10416. doi:10.1371/journal.pone.0010416.
16. Colosimo P. F. et al. Widespread parallel evolution in sticklebacks by repeated fixation of ectodysplasin alleles // Science. 2005. Vol. 307. P. 1928–1933.
17. Coop G. et al. The role of geography in human adaptation // PLoS Genet 5(6): e1000500. doi:10.1371/journal.pgen.1000500.
18. Hayes B. J., Bowman P. J., Chamberlain A. J. et al. A Validated Genome Wide Association Study to Breed Cattle Adapted to an Environment Altered by Climate Change // PLoS ONE 4(8): e6676. doi:10.1371/journal.pone.0006676.
19. Joost S., Bonin A., Bruford M. W. et al. A spatial analysis method (SAM) to detect candidate loci for selection: towards a landscape genomics approach to adaptation // Mol. Ecol. 2007. Vol. 16. P. 3955–3969.
20. Kozak K. H., Graham C. H., Wiens J. J. Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology // Trends Ecol. Evol. 2008. Vol.23. P. 141–148.
21. Manel S., Schwartz M. K., Luikart G. et al. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics // Trends Ecol. Evol. 2003. Vol.18. P. 189–197.
22. Nosil P., Funk D. J., Ortiz-Barrientos D. Divergent selection and heterogeneous genomic divergence // Mol. Ecol. 2009. Vol.18. P. 375–40.
23. Slatkin M., Wiehe T. Genetic hitch-hiking in a subdivided population//Genet. Res. 1998. Vol.71. P. 155–160.
24. Steiner C. C., Weber J. N., Hoekstra, H. E. Adaptive variation in beach mice produced by two interacting pigmentation genes // PLoS Biol. 2007. Vol. 5. P. 219.
25. Tilman D., Cassman K.G., Matson P., Naylor R., Polaskya S. Agricultural sustainability and intensive production practices // Nature 418, 671-677.

References:

1. Altukhov YP Genetic processes in populations. М.: ICC – Akademkniga, 2003. 431 p.
2. Vlasov B.I. Global food problem. K.: Institute of Agrarian Economy, 2001. 505 p.
3. Glazko V.I. Genetically modified organisms, from bacteria to humans. K.: KVIC, 2002. 210 p.
4. Report to Yohanensburge "World Conference on Sustainable Development, representatives of 195 countries in Johannesburg, South Africa, 26 August – 4 September 2002".
5. Zhuchenko A.A. Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic bases). М : "Agrorus", 2001. Т. I and II.
6. Zhuchenko AA Ecological genetics of cultivated plants and problems of agrosphere (theory and practice). М.: "Agrorus", 2004. Т. I and II.
7. Kulakov M.V. "Green Revolution" and hunger in Latin America. М: Moscow State University, 1984. 169 p.
8. Kucenko L.M., Piskarenko V.N. Environmental protection. K.: Yeild, 1991. 111 p.
9. World in Figures. Statistical collection. М.: Financial Engineering, 1992. 456 p.
10. At the dawn of the 21st century. World Development Report 1999/2000: Trans. from English. М.: Worldwide, 2000. 277 p.

11. Nayyar D. Globalization and Development Strategies. "High-level Round Table on Trade and Development. Guidelines for the XXI. Report of the UN Conference on Trade and Development UNCTAD X. Bangkok, 2000. 33 p.
12. Tarko A.M. Anthropogenic changes in global biospheric processes. Mathematical modeling. M.: FIZMATLIT, 2005. 230 p.
13. Yablokov A.V. Nuclear mythology. Notes of ecologist about the nuclear industry. M.: "Nauka", 1997. 272.p.
14. Yankevits J.J. Food problems of the world population // Food problem of the world population. M.: Knowledge, 1982. P 11-42.
15. Beck J., Sieber A. Is the Spatial Distribution of Mankind's Most Basic Economic Traits Determined by Climate and Soil Alone? // PLoS ONE 5(5): e10416. doi:10.1371/journal.pone.0010416.
16. Colosimo P. F. et al. Widespread parallel evolution in sticklebacks by repeated fixation of ectodysplasin alleles // Science. 2005. Vol. 307. P. 1928–1933.
17. Coop G. et al. The role of geography in human adaptation // PLoS Genet 5(6): e1000500. doi:10.1371/journal.pgen.1000500.
18. Hayes B. J., Bowman P. J., Chamberlain A. J. et al. A Validated Genome Wide Association Study to Breed Cattle Adapted to an Environment Altered by Climate Change // PLoS ONE 4(8): e6676. doi:10.1371/journal.pone.0006676.
19. Joost S., Bonin A., Bruford M. W. et al. A spatial analysis method (SAM) to detect candidate loci for selection: towards a landscape genomics approach to adaptation // Mol. Ecol. 2007. Vol. 16. P. 3955–3969.
20. Kozak K. H., Graham C. H., Wiens J. J. Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology // Trends Ecol. Evol. 2008. Vol.23. P. 141–148.
21. Manel S., Schwartz M. K., Luikart G. et al. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics // Trends Ecol. Evol. 2003. Vol.18. P. 189–197.
22. Nosil P., Funk D. J., Ortiz-Barrientos D. Divergent selection and heterogeneous genomic divergence // Mol. Ecol. 2009. Vol.18. P. 375–40.
23. Slatkin M., Wiehe T. Genetic hitch-hiking in a subdivided population//Genet. Res. 1998. Vol.71. P. 155–160.
24. Steiner C. C., Weber J. N., Hoekstra, H. E. Adaptive variation in beach mice produced by two interacting pigmentation genes // PLoS Biol. 2007. Vol. 5. P. 219.
25. Tilman D., Cassman K.G., Matson P., Naylor R., Polaskya S. Agricultural sustainability and intensive production practices // Nature 418, 671-677.

УДК 631

Экологическая геномика и агроэкосистемы

Валерий Иванович Глазко

РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Рассматриваются особенности современного состояния агроэкосистем, свидетельствующее о кризисе развития аграрной цивилизации по экстенсивному пути. Показано, как на основании современных возможностей генных и геномных технологий, соединенных с геоинформационными системами, удастся идентифицировать гены, вовлеченные в адаптации. Обсуждаются возможности интенсификации сельского хозяйства путем выявления связей генофондов сельскохозяйственных видов с эколого-географическими особенностями их воспроизводства.

Ключевые слова: агроэкосистемы; геномика; геоинформационные системы (GIS); популяционная генетика; экологические факторы.