



УДК 574.472: 58.07

Риски сокращения биоразнообразия южной части Алтае-Саянского экорегиона в связи с возможным распространением ГМ-культур на сопредельных территориях. Анализ современной ситуации

А. Г. Еникеев¹, И. И. Тупицын², С. В. Пыжьянов², Л. А. Максимова¹, С. Г. Швецов¹

¹Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск

²Восточно-Сибирская государственная академия образования, Иркутск

E-mail: enikeev@sifibr.irk.ru.

Аннотация. Обсуждается опасность неконтролируемого проникновения ГМО в южную (монгольскую) часть Алтае-Саянского экорегиона. Эта территория расположена вдоль маршрутов массовых сезонных миграций птиц из России через Китай в страны Южной Азии и в обратном направлении. В сельском хозяйстве Китая, в том числе в районах, где птицы останавливаются во время перелётов, широко используются устойчивые к насекомым-вредителям трансгенные Вt-растения с очень высоким содержанием белкового δ-эндотоксина. Возможный перенос семян и неразложившихся остатков ГМ-растений в желудочно-кишечном тракте и на оперении птиц может привести к неконтролируемому генетическому загрязнению западных регионов Монголии. Таким образом, возникает угроза сокращения видового разнообразия растений как путём замещения ГМ-растениями видов аборигенной флоры, так и за счёт сокращения видового состава почвенных организмов в результате воздействия токсичных остатков Вt-растений.

Ключевые слова: ГМО, неконтролируемое распространение, биоразнообразие, Алтае-Саянский экорегион.

Введение

С момента появления человечество активно использует растительные ресурсы Земли. На протяжении многих столетий создавались новые высокопродуктивные формы хозяйственно-ценных растений, росли площади используемых в сельском хозяйстве земель, активно использовались ресурсы дикорастущих видов растений. Обратной стороной этого процесса стало постоянное сокращение ареалов и даже полное исчезновение целого ряда представителей флоры. Бурное развитие биотехнологии во второй половине XX столетия, создание принципиально новых источников некоторых видов растительного сырья (в первую очередь, лекарственных растений) позволило снизить темпы сокращения видового разнообразия мировой флоры [14]. Вместе с тем успехи этого же направления биологической науки привели к возникновению новых типов рисков сокращения видового разнообразия. В 1994 г. американская фирма Monsanto представила на рынок первый коммерческий трансген. Сегодня площади посевов, занятые ГМ-культурами, превысили 134 млн га [17]. За последние годы в научной литературе накоплен большой массив данных, свидетельствующих о наличии негативных воздействий ГМО на здоровье человека

и окружающую среду [1; 4]. Вопреки заверениям разработчиков трансгенных растений, исключить их неконтролируемый выход в дикую природу оказалось практически невозможно. Так, согласно недавним сведениям, в Мексике в растениях из диких популяций хлопчатника американского (*Gossypium hirsutum* L.) обнаружены гены трансгенных растений и белки Cry1Ab/Ac и Cry2A (Вt-эндотоксины); CP4-EPSPS и PAT/Bat (контролируют устойчивость к гербицидам глифосату и глюфофозинату аммония соответственно). Их присутствие установлено в 36 популяциях, причём максимальное удаление места сбора от посевов ГМ-хлопчатника составило 755 км [19]. Анализ подобных ситуаций показывает, что внедрение трансгенов будет сопровождаться значительным изменением структуры природных популяций и существенным снижением видового разнообразия [8].

Более 20 % площадей, занятых посевами ГМ-культур, приходится на растения, устойчивые к насекомым-вредителям, полученные с применением так называемых Вt-технологий. В растительный геном вводятся гены бактерии *Bacillus thuringiensis*, кодирующие белковый δ-эндотоксин Cry, приводящий к гибели насекомых-фитофагов. Опыт использования таких трансгенов в сельском хозяйстве в ряде случаев

показал крайне низкую их эффективность из-за сильно выраженного плейотропного эффекта [2]. Картофель, устойчивый к повреждениям колорадским жуком, оказался неустойчивым к гнилям, в результате чего потери при хранении значительно превысили потенциальные потери от воздействия вредителя [13]. Высокий уровень связанных с использованием Vt-технологий экологических рисков обусловлен, в частности, и тем, что содержание δ -эндотоксина в Vt-растениях превышает его дозу при обработке бактериальными препаратами в 1500–2000 раз. В результате токсическое действие Стубелка проявляется неизбирательно, что приводит к резкому снижению численности популяций беспозвоночных, в том числе полезных. Исследования последних лет показали, что остатки трансгенных растений легко мигрируют как в наземных, так и водных экосистемах, что неминуемо приводит к загрязнению последних продуктами трансгенеза [2; 3]. Результаты обследования 217 водоёмов на среднем Западе США в районе широкомасштабного выращивания Vt-кукурузы показали, что в 13 % из них обнаружены следы белка Cry1Ab. Следствием этого стала массовая гибель нецелевых видов насекомых и почвенной микрофлоры, нарушение трофических цепей [18; 20; 21].

В Китае более сочный генномодифицированный Vt-хлопчатник привлёк к себе большое число клопов, которые питаются соком растений, избегая воздействия токсичного белка. От клопов теперь страдают не только 3 млн га посевов этой культуры, но и расположенные поблизости плантации винограда, яблони, сливы, персика и др. на площади 26 млн. га [5].

Между тем, несмотря на неоднозначность результатов и большие экологические риски, площади посевов Vt-культур постоянно растут.

Возможные пути неконтролируемого проникновения ГМ-материалов в Алтай-Саянский экорегион. Механизмы ГМ-загрязнений могут быть различными и в значительной степени определяются географическими особенностями конкретного региона. Угрозу для природных популяций представляют не только прямые инвазии ГМ-растений, но и загрязнение среды их неразложившимися остатками. Южная, приходящаяся на территорию Монголии, часть Алтае-Саянского экорегиона – уникальный резерват редких, в том числе эндемичных видов растений [6], многие из которых представляют интерес как перспективные источники лекар-

ственного сырья [12]. Биотехнологический потенциал значительного числа видов всё ещё не изучен. Сохранение природы этого региона имеет не только национальное, но и общепланетарное значение. В современной Монголии вопросам охраны природы уделяется большое внимание: создана широкая сеть охраняемых территорий различного статуса; в 1992 г. подписана, а в сентябре 1993 г. ратифицирована Конвенция по сохранению биологического разнообразия [10]; в 2003 г. Монголия присоединилась к Картахенскому протоколу по биобезопасности [9]. В сельском хозяйстве Монголии ГМ-культуры не используются. Между тем в силу объективных обстоятельств очень велики риски неконтролируемого проникновения ГМО с сопредельных территорий, прежде всего из Китая, входящего в пятерку мировых лидеров по их производству. Основной выращиваемой в Китае ГМ-культурой является Vt-хлопчатник: засеянные им площади в 2007 г. достигли 3,8 млн га и продолжают увеличиваться [16].

Расположенная между Монгольским Алтаем и хребтом Хангай, одна из жемчужин природы Центральной Азии – Котловина Больших озёр – лежит на пути массовых сезонных перелётов птиц из северных регионов России в Южную Азию. Территория котловины входит в Минусинско-Тувинскую область миграций птиц, через которую проходит пролёт гусиных и некоторых видов ржанкообразных и воробьиных, гнездящихся на обширных пространствах Западной Сибири. Юго-восточное направление миграции приводит птиц к местам зимовок на территории Китая до Жёлтого моря и далее в другие регионы Юго-Восточной Азии. Перемещения утиных и большинства воробьиных птиц имеют широтно-долготную направленность, с преобладанием широкого фронта пролёта, что приводит к расширению территории мест зимовок [7; 11]. Важной особенностью весенней миграции водоплавающих птиц является формирование продолжительных по времени скоплений на растаявших озёрах, обусловленных различным режимом схода снега в степных и таёжных зонах [11]. Котловина Больших озёр является важным местом концентрации птиц околородного комплекса, мигрирующих через этот регион как с мест зимовок Юго-Восточной Азии, так и по восточно-азиатско-африканскому пути. Остановки птиц на кормёжку и отдых приводят к переносу в новые места в желудочно-кишечном тракте объектов питания в виде остатков растений

и непереваренных семян. После сбора урожая трансгенного хлопчатника на полях остаётся большое количество растительных остатков, содержащих δ -эндотоксин, которые с большой вероятностью могут оказаться в рационе мигрирующих птиц. Дополнительная опасность заключается в том, что птицами транспортируется на большие расстояния генетический материал не только растительного происхождения, но и микроорганизмы, а также споры и гифы грибов.

Кроме того, к числу рисков ГМО с наиболее непредсказуемыми последствиями относится обратный горизонтальный перенос генов от ГМ-растений к почвенным микроорганизмам и, как результат, появление в среде новых рекомбинантных штаммов [15]. Подобные штаммы могут легко переноситься птицами, что создаст дополнительные риски для местной флоры вследствие неизбежного изменения видового состава почвенных организмов. Таким образом, одна из наиболее охраняемых природных территорий Монголии может быть подвергнута мощному генетическому загрязнению, следствием которого станут значительные изменения структуры популяций и снижение видового разнообразия. Более того, особенности географического расположения Котловины Больших озёр будут способствовать распространению ГМ-загрязнений на соседние территории, на севере в район озера Хубсугул и в юго-восточном направлении через примыкающую к Котловине Больших озёр Долину озёр.

В настоящее время в Российской Федерации выращивание генетически модифицированных растений в коммерческих целях запрещено, однако в органах власти активно лоббируется вопрос о снятии этого запрета. В качестве потенциальных полигонов для широкомасштабного выращивания трансгенов в коммерческих целях в первую очередь рассматриваются южные районы Западной и Центральной Сибири, т. е. территории, входящие в состав Алтае-Саянского экорегиона. Таким образом, если в России будет снят запрет на выращивание трансгенных растений в коммерческих целях, число источников возможной ГМ-экспансии в уникальную экосистему Котловины Больших озёр заметно возрастёт.

Заключение

Для западных районов Внешней Монголии существует реальная опасность сокращения биологического разнообразия вследствие не-

контролируемого проникновения и загрязнения среды ГМ-материалами (семена и неразложившиеся остатки трансгенных растений) с сопредельных территорий.

Миграции птиц из Юго-Восточной Азии в Россию через Монголию являются потенциальным вектором переноса ГМО из мест культивирования на территории Китая в Котловину Больших озёр и другие особо охраняемые природные территории Внешней Монголии.

Учитывая особый статус региона, необходима организация мониторинга ГМ-загрязнений и принятие превентивных мер защиты, в первую очередь создание коллекций семян и растений *in vitro*, относящихся к редким и эндемичным видам флоры данного региона.

Литература

1. Балашова Н. Н. Трансгенные растения в сельском хозяйстве и возможный риск в связи с проблемами живых организмов / Н. Н. Балашова, И. Т. Лахматова, Г. А. Лупашку // Сельскохозяйственная биология. – 2001. – № 5. – С. 3–13.
2. Викторов А. Г. Влияние Вt-растений на почвенную биоту и плейотропный эффект дельта-эндотоксин кодирующих генов / А. Г. Викторов // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 6. – С. 823–833.
3. Викторов А. Г. Трансэкосистемный перенос «вторичных продуктов» Вt-кукурузы и пресноводные экосистемы / А. Г. Викторов // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 4. – С. 483–489.
4. Генетически модифицированные организмы и биологическая безопасность / Вл. В. Кузнецов [и др.] // Экос-Информ. – 2004. – № 10. – С. 3–64.
5. ГМО-хлопок в Китае вызвал нашествие клопов на плантации [Электронный ресурс]. – URL: <http://news.arvo.ua/index.php?raz=4&id=3486>
6. Губанов И. А. Конспект флоры Внешней Монголии (сосудистые растения) / И. А. Губанов. – М. : Валанг, 1996. – 136 с.
7. Емельянов В. И. Некоторые экологические аспекты устойчивости популяционных группировок гусей и лебедей (Anserinae, Cygninae) в областях миграций на территории Приенисейской Сибири / В. И. Емельянов, А. П. Савченко // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Естеств. науки. – 2006. – № 5. – С. 17–26.
8. Животовский Л. А. Стабилизирующий отбор и приспособляемость популяций ГМО / Л. А. Животовский // ГМО – скрытая угроза России. – М. : Общественная ассоциация генетической безопасности, Центр экологической политики России, 2004. – С. 93–104.
9. Картаженский протокол по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии (Монреаль, 29.01.2000) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cbd.int/biosafety/protokol.shtml>.
10. Конвенция о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 05.06.1992 г.) [Электронный ре-

супс]. – URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml.

11. Савченко А. П. К изучению территориальных связей куликов (*Charadrii*) юга Средней Сибири / А. П. Савченко, Н. В. Карпова // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Естеств. науки. – 2004. – № 7. – С. 12–27.

12. Хайдав Ц. Лекарственные растения в монгольской медицине / Ц. Хайдав, Б. Алтанчимэг, Т. С. Варламова. – Улан-Батор: Госиздательство, 1985. – 391с.

13. Яблоков А. В. ГМО и продукты из них опасны / А. В. Яблоков, А. С. Баранов // ГМО – скрытая угроза России. – М.: Общественная ассоциация генет. безопасности, Центр экол. политики России, 2004. – С. 6–19.

14. Bhojwani S.S. Plant tissue culture: theory and practice, a revised edition / S. S. Bhojwani, M. K. Razdan. – Elsevier Science, 1996. – 767 p.

15. Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria – a rare event? / K. M. Nielsen [et al.] // FEMS Microbiol. Reviews. – 1998. – Is. 22. – P. 79–103.

16. James C. Global status of commercialized Biotech. Executive summary [Электронный ресурс] /

C. James // GM Crops. ISAAA Brief 37. – 2007. – URL: <http://www.isaaa.org/resources/publication/briefs/37/executivesummary/pdf>.

17. James C. Global status of commercialized Biotech. Executive summary [Электронный ресурс] / C. James // GM Crops. ISAAA Brief 41. – 2009. – URL: <http://www.isaaa.org/resources/publication/briefs/41/executivesummary/pdf>.

18. Occurrence of maize detritus and a transgenic insecticidal protein (Cry1Ab) within the stream network of an agricultural landscape / J. L. Tank [et al.] // PNAS. – 2010. – Vol. 107, N 41. – P. 17645–17650.

19. Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin / A. Wegier [et al.] // Mol. Ecol. – 2011. – Vol. 20. – P. 4182–4194.

20. Responses of stream macroinvertebrates to Bt maize leaf detritus / C. P. Chambers [et al.] // Ecol. Appl. – 2010. – Vol. 20, Is. 7. – P. 1949–1960.

21. Toxins in transgenic crop byproducts may affect headwater stream ecosystems / E. J. Rosi-Marshall [et al.] // PNAS. – 2007. – Vol. 104, N 41. – P. 16204–16208.

Risks of biodiversity loss in the southern part of Altai-Sayan ecoregion resulted from potential expansion of transgenic plants from adjacent territories. Analysis of the modern situation

A. G. Enikeev¹, I. I. Tupitzin², S. V. Pyzhjanov², L. A. Maximova¹, S. G. Shvetsov¹

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

² East-Siberian State Academy of Education, Irkutsk

Abstract. The risks of uncontrolled transgenic plants penetration to southern (Mongolian) part of Altai-Sayan ecoregion are discussed. This territory is situated along the route of massive seasonal bird migration that leads from Russia through China to countries of South Asia and back. In agriculture of China, including areas where birds stop during migration, insect resistant transgenic Bt-plants with very high contents of protein δ -endotoxins are widely used. Birds can carry seeds and uncontrolled remains of GM crops on feathers and in gastrointestinal tracts into other regions. This can lead to uncontrolled genetic contamination of the western regions of Mongolia. Thus, there is a danger of reducing species diversity of plants due to both substituting the species of local flora by GM crops and affecting the soil organisms by exposure to toxic residues of Bt-plants.

Key words: transgenic plants, uncontrolled invasion, biodiversity, Altai-Sayan ecoregion.

Еникеев Андрей Густавович
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132
кандидат биологических наук, зав. лабораторией
тел. (3952)42–66–76
E-mail: enikeev@sifibr.irk.ru

Enikeev Andrey Gustavovich
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033
Ph. D. in Biology, Head of Laboratory
phone: (3952)42–66–76
E-mail: enikeev@sifibr.irk.ru

Тупицын Игорь Иннокентьевич
Восточно-Сибирская государственная
академия образования
664011, г. Иркутск, ул. Нижняя Набережная, 6
кандидат биологических наук, доцент
тел. (3952)24–03–99
E-mail: itupitsyn@rambler.ru

Tupitsyn Igor' Innokentyevich
East-Siberian State Academy of Education
6 Nizhnyaya Naberezhnaya St., Irkutsk, 6640116
Ph. D. in Biology, ass. prof.
phone: (3952) 24–03–99
E-mail: itupitsyn@rambler.ru

Пыжъянов Сергей Владимирович
Восточно-Сибирская государственная
академия образования
664011, г. Иркутск, ул. Нижняя Набережная, 6
доктор биологических наук, профессор
тел. (3952)24-03-99
E-mail: pyjyanov@isttu.irk.ru

Максимова Людмила Алексеевна
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
тел. (3952)42-66-76
E-mail: lasema@sifibr.irk.ru

Швецов Сергей Георгиевич
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
тел. (3952)42-47-92
E-mail: shvetsov@sifibr.irk.ru

Pyzhjanov Sergey Vladimirovich
East-Siberian State Academy of Education
6 Nizhnyaya Naberezhnaya St., Irkutsk, 6640116
D.Sc. of Biology, Prof.
phone: (3952) 24-03-99
E-mail: pyjyanov@isttu.irk.ru

Maximova Ljudmila Alekseevna
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Biology, senior research scientist
phone: (3952)42-66-76
E-mail: lasema@sifibr.irk.ru

Shvetsov Sergey Georgievich
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Biology, senior research scientist
phone: (3952) 42-47-92
E-mail: shvetsov@sifibr.irk.ru