

Репродуктивная способность *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) в локальной зоне геолого-геофизической неоднородности Горного Алтая

А. И. КУЛИКОВА, И. Г. БОЯРСКИХ

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101
E-mail: irina_2302@mail.ru

Статья поступила 08.12.2014

Принята к печати 17.02.2015

АННОТАЦИЯ

В природной популяции *Lonicera caerulea* Горного Алтая (хр. Каменный белок) изучена изменчивость показателей репродуктивной способности растений в локальной зоне геологической неоднородности, выделенной в результате геолого-геофизических исследований. Получены данные о достоверном влиянии недифференцированного комплекса геоэкологических характеристик среды на массу плодов, семенную продуктивность, всхожесть и энергию прорастания семян жимолости синей. Предполагается, что изменение вторичного метаболизма в органах *L. caerulea*, происходящее под воздействием комплекса факторов, связанных с геологической активностью, влияет на репродуктивные характеристики растений.

Ключевые слова: *Lonicera caerulea*, семенная продуктивность, эмбриолетальность, всхожесть и энергия прорастания семян, флавоноиды, активная тектоника.

Активные глубинные разломы представляют собой системы, проводящие к поверхности потоки вещества и энергии, способные воздействовать на природную среду [Экология..., 2008]. С активными тектоническими процессами связано формирование как локальных, так и региональных комплексных геофизических и геохимических аномалий, которые могут вызывать широкий спектр ответных реакций у биоты. Повышенной (даже по отношению к разломной зоне) трещиноватостью и проницаемостью горных пород характеризуются структурные узлы – участки сочленения разнонаправленных разломных зон различного иерархического уровня, которые создают специфические неоднородные условия обитания раститель-

ных популяций, определяя тем самым их структуру.

Вопрос о влиянии активных тектонических процессов на биологические объекты поднимался исследователями неоднократно [Виноградов, 1955; Мельников и др., 1994; Кутинов и др., 2009; Ман..., 2010; Вьюхина и др., 2013]. Считается, что геодинамическая деятельность, геофизические и геохимические аномалии являлись одной из причин усиления процесса видообразования. Эта гипотеза подтверждается распределением большинства эндемичных видов растений вдоль активных разломов, появлением тератных форм (уродства) в популяциях растений и животных, увеличением вариаций их кариотипов [Трифонов, Караханян, 2008]. Влияние

геологических процессов на эволюцию, распространение и таксономическое разнообразие биологических систем подтверждается исследованиями М. Heads [1994, 1998, 2008].

В обзоре Е. Maestri с соавт. [2010] показаны результаты многочисленных исследований в разных странах мира, посвященных изучению адаптивных возможностей растений в контрастных геохимических условиях произрастания и раскрытию механизмов адаптации разных видов растений к геохимическим факторам. Для оценки генетических изменений на популяционном уровне при биотестировании окружающей среды используют методы учета репродуктивных характеристик растений [Биологический контроль..., 2010]. Это связано с тем, что устойчивость во времени такого параметра, как семенное воспроизводство, является наиболее существенным условием стабильности природных популяций. Однако сведения о воздействии геоэкологических аномалий, связанных с активной тектоникой, на семенное воспроизводство растений практически отсутствуют. Неблагоприятные воздействия факторов окружающей среды, как правило, исследуются на тестовых объектах с коротким циклом развития (*Vicia fabia*, *Hordeum vulgare*, *Arabidopsis thaliana*, *Pisum sativum* и др.) [Биологический контроль..., 2010]. Однако для выявления влияния на биоту процессов, связанных с разломной тектоникой, больше подходят высшие растения с продолжительным онтогенетическим циклом, поскольку они позволяют выявить эффект длительного воздействия.

Проведенные ранее в Усть-Коксинском районе Республики Алтай комплексные геофизические и почвенно-геохимические исследования позволили выявить магнитные аномалии, обусловленные серией активных разломов, пересекающих отрог Катунского хребта и разделяющих различные по геомагнитным свойствам породы [Боярских и др., 2012]. С применением магнитометрической съемки на относительно небольшом участке северного склона хребта Каменный белок (“Молниебойный хребтик”) выделены площадки с аномальными вариациями геомагнитного поля. Эти площадки отличались контрастными содержаниями отдельных радионуклидов и химических элементов в почве. С учетом геофизической характеристики этой тер-

ритории сделано заключение о сгущении дизъюнктивных нарушений метаморфических пород в этой зоне. В популяции произрастающего здесь алтайского подвида жимолости синей *Lonicera caerulea* subsp. *altaica* Pall. наблюдалось значительное увеличение полиморфизма морфологических признаков цветков, а также нарушение их функционального состояния. Наряду с большим разнообразием формы цветков здесь отмечались растения с различными типами фасцированных цветков, нехарактерным расположением андроеца и гинецея, аномалиями в строении пыльников и пыльцевых зерен. У отдельных образцов выявлены аномалии в микроспорогенезе, впервые у этого вида отмечен цитомиксис [Куликова, Боярских, 2014]. Выполненный ранее анализ индивидуально-группового состава и содержания биологически активных фенольных соединений (флавоноидов и гидроксикоричных кислот (ГКК)) в листьях и плодах растений, собранных на этих площадках [Боярских и др., 2014], показал, что под воздействием комплекса геоэкологических аномалий в плодах *L. caerulea* subsp. *altaica* из микропопуляций “А2” и “Восток” происходило значительное увеличение содержания антоцианов (в 4–6 раз) и производных ГКК (в 7–9 раз) по сравнению с растениями, произрастающими на площадке “Контроль” с фоновыми геофизическими характеристиками.

Цель данной работы – изучить изменчивость репродуктивных характеристик растений популяции *L. caerulea* subsp. *altaica*. Представленная работа является частью комплексного исследования адаптивной реакции растений на изменение геоэкологических характеристик среды в зонах активных тектонических разломов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Площадки для исследования закладывались в зонах, различающихся по величине индукции магнитного поля (рис. 1), на небольшом участке ($\approx 150 \times 100$ м) в верхней и пригребневой частях западного склона “Молниебойного хребтика” в сходных геоботанических условиях (табл. 1). Показатели индукции геомагнитного поля использовались только для картирования зоны геологической неоднородности.

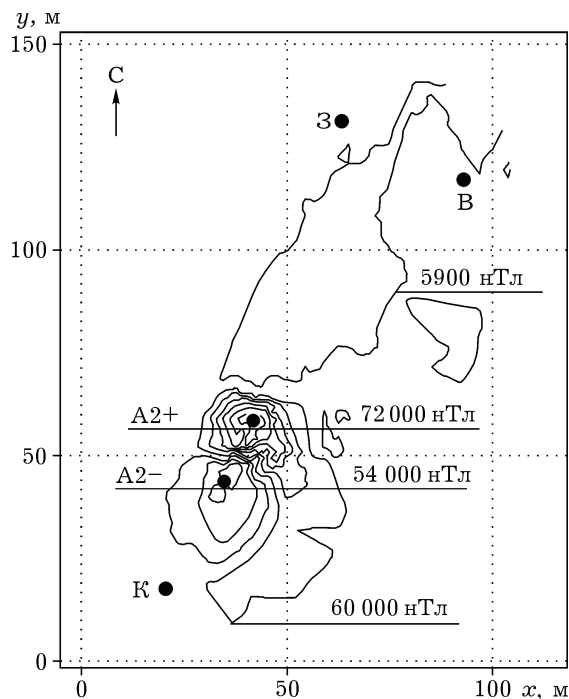


Рис. 1. Характеристика индукции магнитного поля на участке “Молниебойный хребтик” по данным И. Г. Боярских с соавт. [2012]. Фоновое магнитное поле – $F = 60000$ нТл

родности согласно широко распространенному в практике геологической разведки методу [Магниторазведка..., 1980].

Площадки имели неправильную форму, на каждой из них выделены и этикетированы все растения *L. caerulea* subsp. *altaica*. Пло-

щадка “А2+” находилась в зоне положительной магнитной аномалии, “А2-” – в зоне отрицательной магнитной аномалии. Вдоль восточной бровки ступени, обусловленной локальным тектоническим разломом, заложены площадка “Восток”, вдоль западной – площадка “Запад”. При этом микропопуляция *L. caerulea* subsp. *altaica* “Запад” расположена на северном крыле локального разлома, а микропопуляция “Восток” – на южном. Площадки “Запад” и “Восток” характеризовались понижением индукции магнитного поля на 500–1000 нТл, что связано с их нахождением в зоне локального разлома. Контрольная площадка находилась в фоновом для этой территории геомагнитном поле.

В каждой микропопуляции с 20 растений отобрано по 20 нормально развитых зрелых плодов (всего 2000 плодов со 100 растений). Семенную продуктивность определяли по методике Р. Е. Левиной [1981]. Из каждого плода извлекали выполненные семена и неразвившиеся семязачатки. Эмбриолетальность является показателем женской фертильности, процент эмбриолетальности определяли по отношению недоразвитых семязачатков к общему числу семязачатков, функционирующих в момент цветения.

Определение всхожести и энергии прорастания семян проводили в два срока: в феврале и в мае 2013 г. При закладке опытов

Т а б л и ц а 1

Эколого-географические особенности микропопуляций *L. caerulea* subsp. *altaica* на участке северного макросклона хребта Каменный белок

Название микропопуляции	Местонахождение и рельеф	Растительность
Зона магнитной аномалии (А2+; А2-)	Верхняя часть западного склона восточного борта Окольской впадины, 1309 м над ур. м.	Лиственнично-березовый закустаренный лес. Подлесок средней густоты, представлен <i>Cotoneaster melanocarpus</i> , <i>Lonicera caerulea</i> subsp. <i>altaica</i> , <i>Pinus sibirica</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Ribes atropurpureum</i> , <i>Rosa pimpinellifolia</i> , <i>R. acicularis</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>R. saxatilis</i> , <i>Spiraea chamaedrifolia</i> . Травянистый покров пятнистый,
Контроль (К)	Верхняя часть западного склона восточного борта Окольской впадины, 1310 м над ур. м.	основной фон образует разнотравье: <i>Aconitum septentrionale</i> , <i>Aegopodium alpestre</i> , <i>Atragene sibirica</i> , <i>Bupleurum longifolium</i> , <i>Cimicifuga foetida</i> , <i>Cacalia hastata</i> , <i>Calamagrostis obtusata</i> , <i>Cerastium pauciflorum</i> , <i>Chamaenerion angustifolium</i> , <i>Cruciata krylovii</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Elymus mutabilis</i> , <i>Galium boreale</i> , <i>Lathyrus frolovii</i> , <i>Paeonia anomala</i> , <i>Pleurospermum uralense</i> , <i>Poa sibirica</i> , <i>Pulmonaria mollis</i> , <i>Thalictrum minus</i> , <i>Trollius asiaticus</i> , <i>Vicia cracca</i> , <i>V. sepium</i>
Запад (З)	Западный край уступа на гребне восточного борта Окольской впадины, 1269 м над ур. м.	
Восток (В)	Восточный край уступа на гребне восточного борта Окольской впадины, 1268 м над ур. м.	

Масса семян и эмбриолетальность *L. caerulea* subsp. *altaica* из микропопуляций в зоне геологической неоднородности

Характеристика	Контроль	A2-	A2+	Запад	Восток
Масса 1000 семян, г	0,82	0,92	1,02	1,06	0,94
Эмбриолетальность, %	20	15	12	16	22

учитывали Методические указания по семеноведению интродуцентов [1980]. Проращивание проводили в термостате при температуре 25 °С, семена считали проросшими при формировании корешка размером с семя.

Для проверки статистически значимого различия признаков репродуктивной сферы, а также оценки корреляционной связи между ними использовали критерий Стьюдента и критерий Фишера [Гланц, 1998]. Статистический анализ полученных данных выполнен с применением пакета прикладных программ Statistica и Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плоды, собранные с растений в контрольной микропопуляции, отличались достоверно наименьшей массой плодов, числом и массой полноценных семян, а также высокой эмбриолетальностью (табл. 2; рис. 2, а, б). Самые крупные плоды обнаружены в зоне положительной магнитной аномалии (A2+) и в микропопуляции “Восток”. При этом в “A2+” формировалось мало семян, но они имели большую массу, и эмбриолетальность была самой низкой. Число семян в плодах, собранных в микропопуляции “Восток”, оказалось наибольшим, но и эмбриолетальность отмечена здесь самой высокой, однако она всего на 2 % выше, чем в контрольной микропопуляции. В зоне отрицательной магнитной аномалии плоды были более выровнены по массе (рис. 3). Показатели массы плодов и эмбриолетальности в микропопуляции “Запад” близки к показателям в “A2-”. В целом эмбриолетальность во всех микропопуляциях достаточно низкая (12–22 %), что говорит об устойчивости семенного воспроизводства *L. caerulea* subsp. *altaica* к воздействию комплекса геофизических и геохимических факторов.

Анализ частоты встречаемости растений с различной массой и семенной продуктивностью плодов из исследуемых микропопуля-

ций показал смещение распределения этих параметров в сторону больших значений по сравнению с контрольной (см. рис. 3).

Отмечено отсутствие тесной корреляции между массой плодов и числом завязавшихся семян. Известно, что процессы развития семян и околоплодника тесно связаны и син-

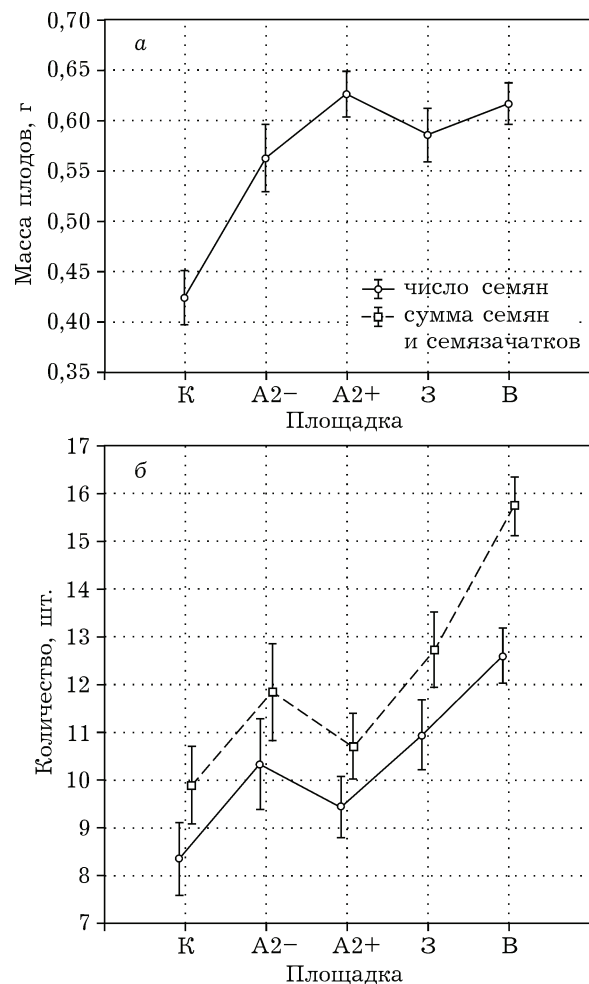


Рис. 2. Влияние места произрастания растений на: а – массу плодов; б – число семян и сумму семян и семязачатков

Вертикальные столбцы показывают 95%-ные доверительные интервалы. К – контроль, A2- – зона отрицательной магнитной аномалии и A2+ – зона положительной магнитной аномалии, З – Запад, В – Восток

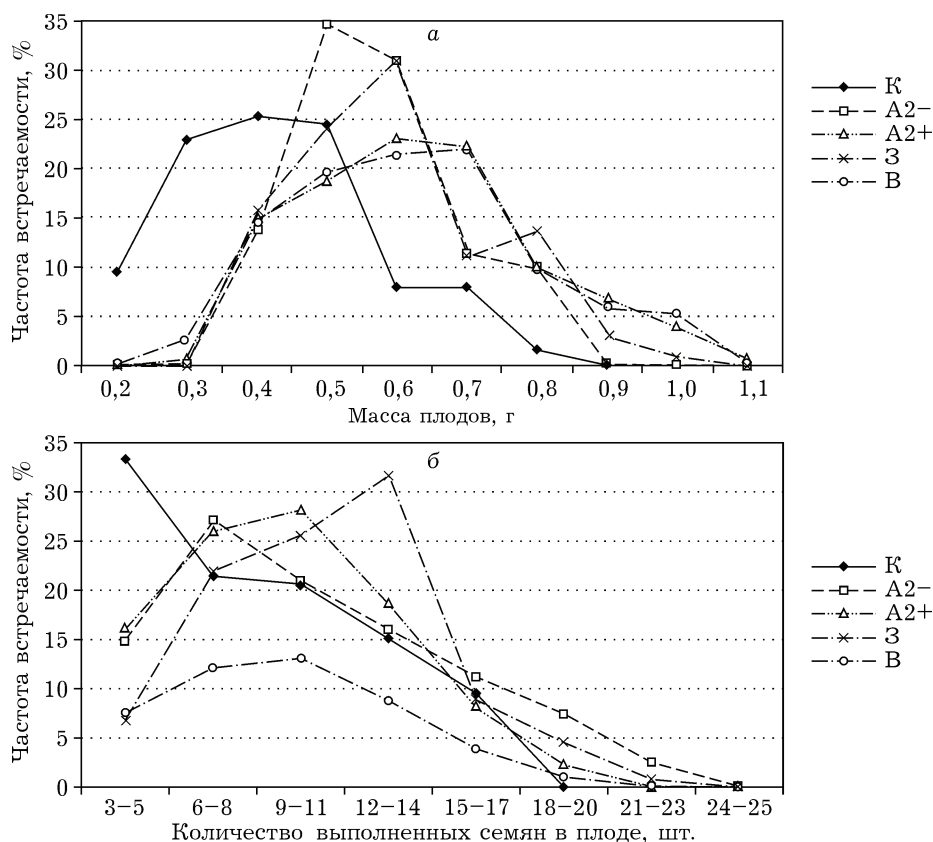


Рис. 3. Частотное распределение массы плодов (а) и их семенной продуктивности (б) в микропопуляциях *L. caerulea* subsp. *altaica* в зоне геологической неоднородности. Усл. обозн. см. рис. 2

хронизированы, находятся под контролем фитогормонов – ауксина, гиббереллина и цитокинина. Начало развития плодов из завязи, так называемое завязывание плодов, происходит после оплодотворения семязачек и координируется сигналами от развивающихся семязачатков [Pandolfini, 2009]. Как правило, неопыленные завязи не развиваются до конца и с течением времени опадают, между числом семян в плоде и его массой отмечаются положительные корреляции [Николаева и др., 1999]. Проведенное ранее в условиях интродукции изучение взаимосвязи массы плодов *L. caerulea* s.l. с числом полноценных и суммарным числом завязавшихся семян показало наличие тесной корреляционной связи (0,73–0,98 %, $p < 0,001$) между массой плодов и числом выполненных семян у большинства образцов жимолости синей. Несформировавшиеся семена слабо влияли на изменение массы плодов [Боярских, 2004]. На исследуемом участке, так же как и в условиях интродукции, отмечалась достоверная положительная корреляционная зави-

симость между массой плодов и их семенной продуктивностью (табл. 3). Однако степень этой зависимости изменялась от очень слабой в зоне отрицательной магнитной аномалии (A2–) до средней в контрольной микропопуляции и в зоне положительной магнитной аномалии (A2+). Нарушение известной закономерности может говорить о наличии экзогенного влияния на формирование плодов. Под воздействием внешних факторов может происходить изменение уровня фитогормонов в органах растений [Веселов и др., 2007]. Возможно, на на-

Т а б л и ц а 3

Корреляционная зависимость между массой плодов и числом сформировавшихся в них семян в разных условиях произрастания *L. caerulea* subsp. *altaica*

Микропопуляция	Коэффициент корреляции
Контроль	0,57***
A2–	0,19*
A2+	0,50***
Запад	0,30***
Восток	0,41***

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Всхожесть и энергия прорастания семян *L. caerulea* subsp. *altaica* в зависимости от места произрастания растений и сроков посева

Микропопуляция	Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
	февраль	май	февраль	май
Контроль	64,8	67,0	59,0	31,0
A2-	77,5	63,3	51,7	42,7
A2+	88,2	76,3	71,1	52,9
Восток	91,3	65,3	66,5	18,2
Запад	84,4	75,7	50,1	27,5

рушение сигнально-синхронизирующей функции фитогормонов влияют и разные комплексы геоэкологических аномалий.

Оценку гетерогенности семенного потомства растений из выделенных микропопуляций проводили по критериям: лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян. Лабораторная всхожесть семян, собранных на “Молниебойном хребтике”, составила 63–91 % (табл. 4). Наибольшей всхожестью отличались семена, собранные в микропопуляциях “Восток”, “A2+” и “Запад”. При этом для семян из “A2+” также характерна и самая высокая энергия прорастания в оба срока проращивания (71–53 %). При хранении у семян из микропопуляции “Восток” всхожесть и энергия прорастания уменьшались наиболее резко с течением времени, в то время как семена, формировавшиеся под воздействием аномальных значений магнитного поля, дольше сохраняли достаточно высокую энергию прорастания по сравнению с остальными микропопуляциями на “Молниебойном хребтике”. В

контрольной микропопуляции лабораторная всхожесть в феврале и мае почти не различалась (65 и 67 % соответственно).

Массовое прорастание семян из популяции на “Молниебойном хребтике” в феврале происходило на 7–10-й день, в зависимости от места произрастания растений (рис. 4). Характеристика среды обитания оказывала влияние и на длительность процесса прорастания. Наиболее растянутым он оказался у семян, собранных в контрольной микропопуляции (7 дней), самым коротким (4 дня) – в “A2+”. Раньше всего (на седьмой день) начали прорастать семена из микропопуляций “A2+” и “Восток”. Кроме того, у семян из “A2+” наблюдались наиболее дружные всходы, которые достигли максимума на 8-й день. У семян из микропопуляций “Восток”, “A2-” и “Контроль” максимальное количество всходов отмечено на 9-й день.

По полученным данным проведен дисперсионный анализ ANOVA. Результаты показали, что значения критерия Фишера для

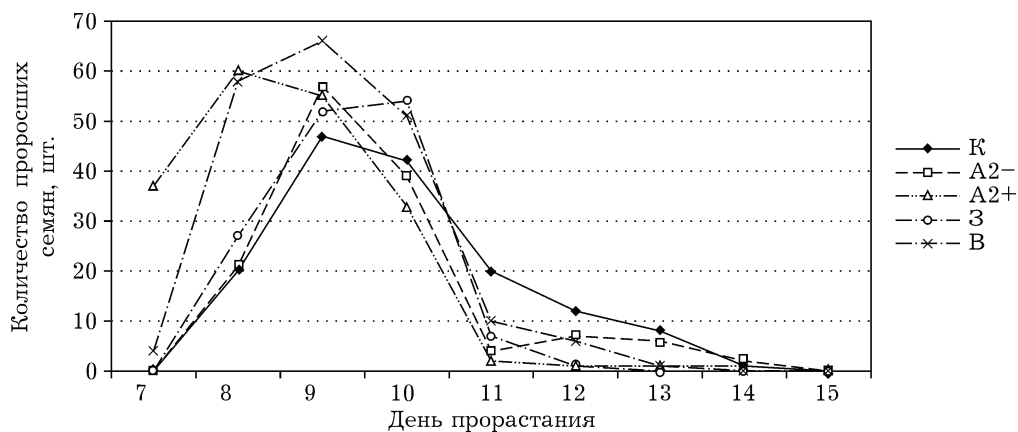


Рис. 4. Динамика прорастания семян *L. caerulea* subsp. *altaica* из микропопуляций в зоне геологической неоднородности. Усл. обозн. см. на рис. 2

Корреляционная зависимость между содержанием отдельных классов полифенолов в органах и репродуктивными характеристиками *L. caerulea* subsp. *altaica*

Содержание полифенолов	Масса плода, г	Число выполненных семян в плоде	Сумма семян и семязачатков
		Листья	
ГКК	0,01	0,24***	0,35***
Флавонолы	0,39***	0,27***	0,30***
Флавоны	-0,30***	-0,07*	0,03
		Плоды	
Антоцианы	0,31***	0,06	0,05
ГКК	0,35***	0,26***	0,32***
Флавонолы	0,31***	0,18***	0,23***
Флавоны	0,14***	-0,12**	-0,18***

П р и м е ч а н и е. Для вычисления коэффициентов корреляции использованы данные И. Г. Боярских с соавт. [2014]. Корреляционная связь достоверна на * - 0,05, ** - 0,01, *** - 0,001 уровнях значимости.

массы плодов $F(4,730) = 39,661$, числа семян $F(4,730) = 23,558$, числа семязачатков $F(4,730) = 27,740$ и суммы семян и семязачатков $F(4,730) = 43,316$ значительно превышают критические, что говорит о достоверном влиянии места произрастания растений на все эти признаки при 99 %-ном уровне вероятности.

Исследуемые микропопуляции находятся в одинаковых условиях температурного и водного режимов и солнечной инсоляции, почвы имеют сходный гранулометрический состав и близкие значения кислотности и содержания органического вещества [Боярских и др., 2012], что также косвенно подтверждается сходством геоботанических условий на этих площадках. Поэтому отмеченные вариации репродуктивных характеристик вызваны, по всей видимости, различиями, связанными с геологической неоднородностью среды. Семена худшего качества по всем изученным показателям формировались в фоновых условиях в микропопуляции “Контроль”. Увеличение репродуктивной способности *L. caerulea* subsp. *altaica* можно рассматривать как компенсационный механизм в ответ на влияние недифференцированного комплекса геоэкологических факторов.

Одним из физиологических механизмов защиты генеративной сферы от стрессовых воздействий, связанных с активной тектонической деятельностью, может быть изменение вторичного метаболизма в плодах и листьях *L. caerulea* subsp. *altaica*. Проведенные ранее исследования [Боярских и др., 2014] показали значительное увеличение

уровня накопления антоцианов и ГКК в плодах и одновременное уменьшение содержания ГКК в листьях растений из зоны положительной магнитной аномалии (A2+) и микропопуляции “Восток”, что говорит о возможном интенсивном оттоке полифенолов в аттрагирующие органы (плоды) под влиянием стресса. В этих же растениях мы наблюдали и самые высокие показатели репродуктивной способности. Достоверная положительная корреляционная зависимость между содержанием отдельных классов полифенолов в органах и репродуктивными характеристиками *L. caerulea* subsp. *altaica* (табл. 5) подтверждает это предположение. Самая слабая корреляционная зависимость с отдельными репродуктивными показателями установлена для флавонов. Для этого класса флавоноидов отмечены также и отрицательные зависимости, что говорит о различной реакции проанализированных классов полифенолов на комплексы геоэкологических факторов.

Известно, что флавоноиды и ГКК в растениях проявляют многофункциональное биологическое действие [Запрометов, 1996]. В частности показано, что переход к цветению, цветение и сексуализация растений связаны с изменениями в общем метаболизме, который затрагивает и ГКК [Дюрдевич и др., 1992]. Так, при фертилизации табака в семяпочке повышалось содержание хлорогеновой кислоты и значительно увеличивалось количество семян [Sheen, 1973]. Применение ГКК в качестве регуляторов роста увеличивает жизнеспособность пыльцы и ее оплодотворя-

ющую способность, стимулирует всхожесть семян, ускоряет формирование генеративных элементов и способствует завязыванию большего количества семян у разных видов растений [Прусакова и др., 2005]. Также показано влияние экстрактов, полученных из растений с высоким содержанием флавоноидов, на увеличение семенной продуктивности, всхожести и энергии прорастания семян [Якимов и др., 2010].

С другой стороны, изменение синтеза флавоноидов и гидроксикоричных кислот часто рассматривают как адаптивную реакцию растений на различные условия произрастания. Увеличение содержания биологически активных фенольных соединений, в первую очередь ГКК, является ответной реакцией растений на повышенные концентрации различных окислителей [Larson, 1988]. Флавоноиды и гидроксикоричные кислоты способны образовывать устойчивые комплексы с ионами тяжелых металлов, обеспечивая секвестирование (арест) их избыточного количества, попадающего в растения из почвы. Повышенные концентрации железа, меди [Boadi et al., 2003], алюминия, кадмия и цинка [Keilig, Ludvig-Müller, 2009] способствуют накоплению флавоноидных соединений у различных видов растений. Считается, что тем самым флавоноидные соединения предотвращают развитие окислительного стресса [Gould et al., 2002].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование изменчивости репродуктивной способности *L. caerulea* subsp. *altaica* на участке геологической неоднородности (Горный Алтай, хр. Каменный белок) показало, что микропопуляции этого подвида в зонах с контрастными геохимическими и геофизическими характеристиками достоверно различаются по массе плодов и семенной продуктивности, а также имеют разную степень корреляционной связи между массой плода и числом семян в нем.

Под воздействием различных комплексов геофизических и геохимических аномалий у растений в микропопуляциях *L. caerulea* subsp. *altaica* формируются более крупные плоды, в плодах завязывается большее количество се-

мян, которые имеют бóльшую всхожесть и энергию прорастания по сравнению с растениями, произрастающими в фоновых условиях.

Полученные результаты и анализ литературных данных позволили предположить, что в зонах геологической неоднородности под воздействием комплекса факторов, связанных с тектонической активностью, вместе с изменением вторичного метаболизма в органах произрастающих здесь растений происходят и изменения их репродуктивных характеристик. Усиление синтеза флавоноидов и гидроксикоричных кислот может быть одним из механизмов дополнительной физиологической защиты генеративной системы *L. caerulea* subsp. *altaica*, обеспечивающих формирование высоко жизнеспособных семян. Причем различные классы фенольных соединений оказывают разнонаправленное действие, на что указывает реверсия знака корреляционной зависимости.

ЛИТЕРАТУРА

- Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг / под ред. С. А. Гераськина, Е. С. Сарапульцевой. М.: Академия, 2010. 208 с.
- Боярских И. Г. Биологические особенности представителей *Lonicera caerulea* L. s.l.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2004. 16 с.
- Боярских И. Г., Васильев В. Г., Кукушкина Т. А. Содержание флавоноидов и гидроксикоричных кислот в *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) в популяциях Горного Алтая // Раст. ресурсы. 2014. Вып. 1. С. 105–121.
- Боярских И. Г., Сысо А. И., Худяев С. А., Бакиянов А. И., Колотухин С. П., Васильев В. Г., Чанкина О. В. Особенности элементного и биохимического состава *Lonicera caerulea* L. в локальной геологически активной зоне Катунского хребта (Горный Алтай) // Геоф. процессы и биосфера. 2012. Т. 11, № 3. С. 70–84.
- Веселов Д. С., Веселов С. Ю., Высоцкая Л. Б., Кубоярова Г. Р., Фархутдинов Р. Г. Гормоны растений: регуляция концентрации, связь с ростом и водным обменом. М.: Наука, 2007. 158 с.
- Виноградов Б. В. Примеры связи растительности и почв с новейшей тектоникой // Ботан. журн. 1955. № 6. С. 837–844.
- Вьюхина А. А., Омельченко Е. И., Шиманская Е. И., Чохели В. А., Вардуни Т. В. Применение методов биотестирования для индикации закономерностей варьирования фенотипических и цитогенетических изменений растений-индикаторов в зависимости от степени тектонической нарушенности зоны произрастания // Изв. высших учебных заведений. Сев.-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 1. С. 45–51.
- Гланц С. Медико-биологическая статистика / пер. с англ. М.: Практика, 1998. 459 с.
- Дюрдевич Л., Чулафич Л., Козомара Б., Коф Э., Кефели В. Содержание фенольных соединений в связи с

- проявлением пола у двудомного растения щавеля // Физиол. и биохим. культ. растений. 1992. Т. 24, № 1. С. 64–458.
- Запрометов М. Н. Фенольные соединения и их роль в жизни растения. М.: Наука, 1996. 45 с.
- Куликова А. И., Боярских И. Г. Особенности формирования репродуктивных структур у тератной формы *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) // Ботан. журн. 2014. Т. 99, № 2. С. 193–205.
- Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Беляев В. В., Бурлаков П. С. Влияние тектонических нарушений (дегазация, наведенные токи, вариации геомагнитного поля) севера Русской плиты на окружающую среду (на примере Архангельской области). Вестн. КРАУНЦ. 2009. № 2, вып. 14. С. 77–89.
- Левина Р. Е. Репродуктивная биология семенных растений. М.: Наука, 1981. 96 с.
- Магниторазведка. Справочник геофизика / под ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского. М.: Недра, 1980. 367 с.
- Мельников Е. К., Рудник В. А., Мусийчук Ю. И., Рымарев В. И. Патогенное воздействие зон активных разломов земной коры Санкт-Петербургского региона // Геоэкология. 1994. № 4. С. 50–69.
- Методические указания по семеноведению интродуцентов. М.: Наука, 1980. 64 с.
- Николаева М. Г., Лянгузова И. В., Поздова Л. М. Биология семян. СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1999. 232 с.
- Прусакова Л. Д., Малеванная Н. Н., Белопухов С. Л., Вакуленко В. В. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и иммунопротекторными свойствами // Агрехимия. 2005. № 11. С. 76–86.
- Трифонов В. Г., Караханян А. С. Динамика Земли и развитие общества. М.: ОГИ, 2008. 436 с.
- Экология человека в изменяющемся мире / под ред. В. А. Черешнева. Екатеринбург: УРО РАН, 2008. 570 с.
- Якимов Д. Й., Тачева Й. И., Будаева В. В. Содержание флавоноидов в надземной части *Agrimonia eupato-*
ria L., *Filipendula vulgaris* Moench, *Anthemis arvensis* L. и двух видов *Artemisia* на территории Болгарии и их действие как регуляторов роста растений // Ползуновский вестн. 2010. № 4-1. С. 217–221.
- Boadi W. Y., Iyere P. A., Adunyan S. E. Effect of quercetin and genistein on copper- and iron-induced lipid peroxidation in methyl linolenate // J. Appl. Toxicol. 2003. Vol. 23. P. 363–369.
- Gould K. S., Mckelvie J., Markham K. R. Do anthocyanins function as antioxidants in leaves? Imaging of H₂O₂ in red and green leaves after mechanical injury // Plant, Cell and Environment. 2002. N 25. P. 1261–1269.
- Heads M. A biogeographic review of Parahebe (Scrophulariaceae) // Biol. Journ. Linnean Soc. 1998. N 63. P. 65–89.
- Heads M. Biogeographic disjunction along the Alpine fault, New Zealand // Ibid. 1994. N 115. P. 161–176.
- Heads M. Biological disjunction along the West Caledonian fault, New Caledonia: a synthesis of molecular phylogenetics and panbiogeography // Ibid. 2008. N 158. P. 470–488.
- Keilig K., Ludwig-Müller J. Effect of flavonoids on heavy metal tolerance in *Arabidopsis thaliana* seedlings // Bot. Stud. 2009. Vol. 50. P. 311–318.
- Larson R. A. The antioxidants of higher plants // Phytochemistry. 1988. Vol. 27, N 4. P. 363–377.
- Maestri E., Marmioli M., Visioli G., Marmioli N. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment // Environ. and Experiment. Botany. 2010. Vol. 68. P. 1–13.
- Man and the Geosphere / ed. I. V. Florinsky New York: Nova Science Publishers Inc., 2010. 385 p.
- Pandolfini T. Seedless Fruit Production by Hormonal Regulation of Fruit Set // Nutrients. 2009. N 1. P. 168–177.
- Sheen S. J. Change in amount of polyphenols and activity of related enzymes during of tobacco flower and capsule // Plant Physiol. 1973. N 4. P. 839–844.

Reproductive Ability of *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) in the Area of Geological and Geophysical Heterogeneity in the Altai Mountains

A. I. KULIKOVA, I. G. BOYARSKIKH

Central Siberian Botanical Garden SB RAS
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101

E-mail: irina_2302@mail.ru

Variability of the reproductive capacity of *Lonicera caerulea* in the area of geological heterogeneity was studied. The study was carried out in the Altai Mountains (Kamenniy Belok ridge). Significant influence of a complex of geo-environmental factors in the area on the weight of the fruits, their seed production, germinating capacity and germination readiness was detected. It was assumed that the change of secondary metabolism in the organs of *L. caerulea*, which occurs under the influence of the factors related to geological activity, had an impact on reproductive characteristics of the plants.

Key words: *Lonicera caerulea*, seed production, embryoletality, germinating capacity and readiness, flavonoids, active tectonics.