МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# ВЕСТНИК ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

## БИОЛОГИЯ

**Tomsk State University Journal of Biology**

*Научный журнал*

2012 № 4 (20)

Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС 77-29499
от 27 сентября 2007 г.

Журнал «Вестник Томского государственного университета. Биология»
входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов
и изданий, в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»
Высшей аттестационной комиссии

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Вестник Томского государственного университета. Биология
2012 № 4 (20)

# СОДЕРЖАНИЕ

## АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ



## БИОТЕХНОЛОГИЯ



## БОТАНИКА



## ЗООЛОГИЯ

## СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО



## ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Tomsk State University Journal of Biology
2012 № 4 (20)

# CONTENTS

## AGROCHEMISTRY AND SOIL SCIENCE



## BIOTECHNOLOGY AND MICROBIOLOGY



## BOTANY



## ZOOLOGY

## AGRICULTURE AND FORESTRY



## ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 7–20*

# АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.4
doi: 10.17223/19988591/20/1

**М.В. Бобровский[1], С.В. Лойко[2], Г.И. Истигечев[2], И.В. Крицков[2]**

*[1]Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (г. Пущино)*
*[2]Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*

## СЛЕДЫ ВЕТРОВАЛОВ В ТЕМНОГУМУСОВЫХ ПОЧВАХ ЗАПОВЕДНИКА «КАЛУЖСКИЕ ЗАСЕКИ»

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(проекты № 09-04-01689-а, № 11-04-90780-моб_ст).

*Проведен детальный морфологический анализ строения темногумусовых почв широколиственных лесов ЕТС и формирующихся в их пределах ареалов предельных структурных элементов, образованных ветровальными почвенными комплексами. Изучение производилось с помощью траншей, выполненных в пределах наиболее старовозрастного участка дубрав заповедника «Калужские засеки». Во всех траншеях описаны следы старых ветровалов. Мощность гумусового горизонта фоновых педонов описанных почв составляет 40–60 см и определяется как глубинами западин вывалов, так и глубиной перемешивания почвы мезофауной. Заметную площадь (до 50%) занимают участки с мозаичным строением профиля – здесь глубина западин прошлых вывалов достигает 120–150 см. Полученные данные обсуждаются с позиций концепции климаксности лесных почв. Если рассматривать ветровалы глубиной 40–60 см, то изученные темногумусовые почвы можно отнести к климаксным, если же брать во внимание сверхглубокие вывалы (глубиной до 130–140 см) как редкие, но типичные для лесной зоны явления, то рассматриваемые почвы нельзя отнести к климаксным.*

**Ключевые слова:** *ветровалы; темногумусовые почвы; Калужские засеки; широколиственные леса.*

### Введение

Почвенный покров заповедника «Калужские засеки» характеризуется большим разнообразием автоморфных почв. Здесь представлены практически все почвы, характерные как для южнотаежных, так и для широколиственных лесов. Наиболее широкое распространение в пределах заповедника на песчаных почвообразующих породах имеют дерновые альфегумусовые, а на суглинистых породах – дерново-подзолистые и серые почвы. Уникальным в заповеднике является сравнительно широкое распространение эталонных (раритетных) темногумусовых почв, сформированных под многовидовыми широколиственными лесами [1].

Типичные темногумусовые почвы имеют строение AU–C, где AU – темногумусовый горизонт, C – почвообразующая порода [2]. На территории заповедника темногумусовые почвы впервые были описаны Е.В. Пономаренко и Г.Ю. Офман (авторами они были названы «бурыми лесными») [3, 4]. Эти почвы занимают сравнительно небольшие площади внутри ареалов дерново-подзолистых и серых почв. В своем распространении они в основном приурочены к участкам с расчлененным мезорельефом на территории Южного участка заповедника, где могут быть встречены как на плакорных участках, так и на склонах. Растительность в большинстве случаев представлена старовозрастными широколиственными лесами (в том числе испытавшими в прошлом воздействие интенсивных рубок, лесного выпаса).

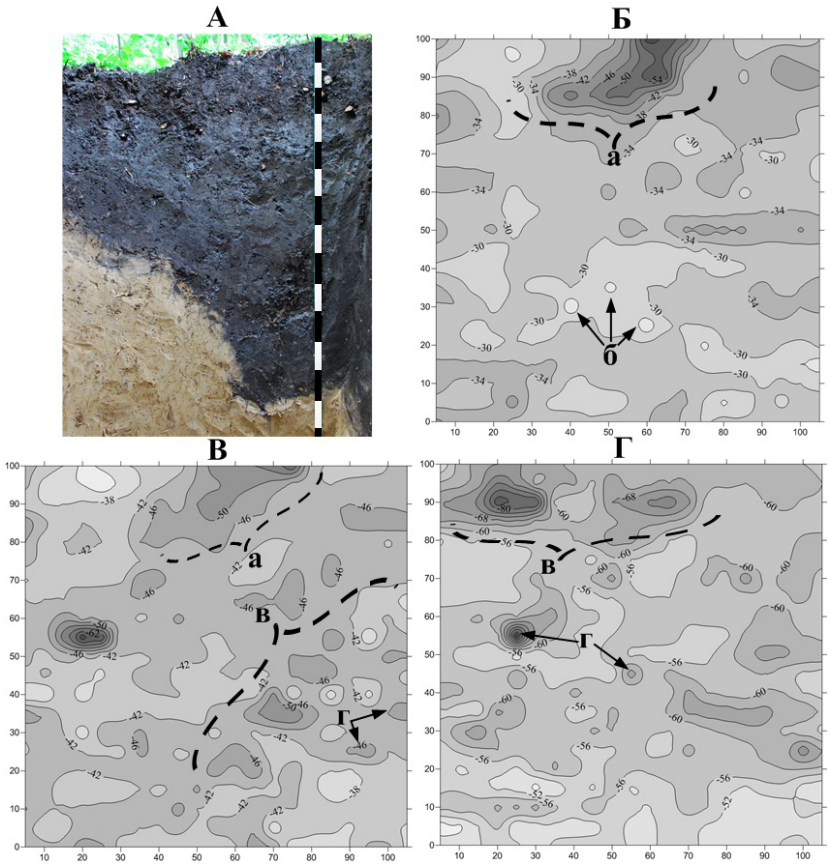



Рис. 1. Темногумусовая почва и рельеф нижних границ ее горизонтов: *А* – фоновый и ветровальный участки темногумусовой почвы (цена деления шкалы = 10 см); *Б* – AU (единицы измерения – см); *В* – AUb; *Г* – BAi. Обозначения: *а* – ветровальная депрессия; *б* – «плавающие» комки бурого материала в гумусовом горизонте; *в* – полиморфон, состоящий из сильно перемешанного материала; *г* – корневые заклинки

Стандартная мощность гор. AU в темногумусовых почвах равна 30 см [2], однако на территории заповедника в исследованных нами ранее профилях [1, 5, 6] варьирует от 40 до 112 см, в среднем составляя 68,0±4,2 см, при этом горизонт подразделяется на два подгоризонта, что отражает эволюционный переход темногумусовых почв района исследований к темно-серым почвам (рис. 1, *А*).

Цель работы – морфологическое исследование темногумусовых почв и оценка роли ветровалов в формировании их профилей.

## Материалы и методики исследования

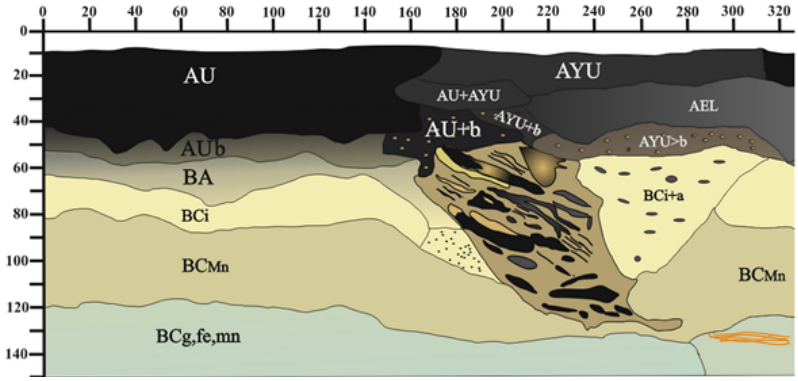
Исследования проводили в 2011 г. в наиболее старовозрастном массиве дубрав Южного участка заповедника «Калужские засеки» (квартал 62). Заповедник «Калужские засеки» располагается в Калужской области (Ульяновский район). Северо-западная часть Среднерусской возвышенности между 53º30′–53º50′ с.ш. и 35°35′–35°55′ в.д. Междуречье рр. Ока и Вытебеть (приток р. Жиздры).

Водораздельные пространства здесь образованы слабонаклонными плоскими равнинами высотой от 150 до 250 м, которые расчленены овражно-балочной сетью; преобладают сравнительно молодые овраги и балки с V-образным сечением, реже встречаются балки с террасированными склонами и плоскими днищами с меандрирующими ручьями. На одном из таких водоразделов вблизи молодого оврага были заложены две траншеи: № 11-1 размером 6 м × 2 м × 1,8 м и № 11-2 размером 2,5 м × 2 м × 1,6 м (длина × ширина × глубина). При их изучении применялся детальный морфологический анализ на уровне профиля и составляющих его горизонтов и морфонов. Морфоны – составные морфологические элементы горизонта, образованные повторяющимися простыми элементами – морфемами (внутри последних нельзя провести границу с помощью невооруженного глаза и других органов чувств) [7].

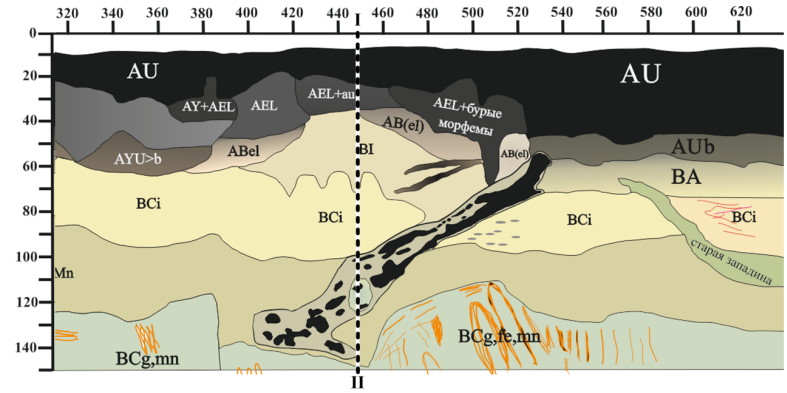
Произведены зарисовки и сделаны фотографии всех стенок траншей (часть фотографий представлена в Интернете. URL: http://www.panoramio.com/user/4107231, тэг «темногумусовые»). Зарисовка производилась путем последовательной съемки границ морфологических элементов в двух координатах. Для детальной трехмерной зарисовки поверхностей горизонтов темногумусовой почвы в траншее №11-1 использован собранный нами пантограф конструкции А.В. Захарченко (установка, состоящая из опорных и скользящей реек, и системы установки уровня) [8]. В качестве нулевой поверхности отсчета глубин была выбрана условная поверхность, перпендикулярная силе тяжести и залегающая выше дневной поверхности. Производилась съемка дневной поверхности, нижней границы гор. AU, а также двух подгоризонтов, отражающих переход от гор. AU к гор. BC.

## Результаты исследования и обсуждение

*Морфологическая характеристика фоновых почв*. В строении изученных почв на траншеях можно выделить два типа элементов строения почвенного покрова. Первый тип – педоны, которые выделены на «фоновых» участках траншей, где горизонтное строение профиля менее всего осложнено ветровальными полиморфонами. Второй тип – предельные структурные элементы, выделенные на участках траншей, где профиль имеет мозаичное строение за счет сильного преобразования исходного горизонтного строения почвы вывалами. При этом в рельефе дневной поверхности следы ветровального почвенного комплекса (ВПК) не выражены, что позволяет рассматривать участки мозаичного строения как «корни» ВПК. В качестве примера приведем описание строения педона, вскрытого траншеей № 11-1 на фоновом участке ареала темногумусовой почвы (рис. 2).




*А*




*Б*

Рис. 2. Схема строения профиля темногумусовой почвы со следами вывальных нарушений (траншея №11-1). Видны следы двух провернутых вывалов:
*А* – отрезок траншеи с отсыпкой в передний клин западины одного глубокого вывала;
*Б* – отрезок траншеи с отсыпкой по западине другого глубокого вывала.
I–II – перпендикулярная зарисовка (см. рис. 4, *А*)

AU (0–38/41 см): типодиагностический темногумусовый горизонт, подразделяющийся на два подгоризонта. AU1 (0–27/32 см), во влажном состоянии имеет темно-серую, местами с буроватым оттенком окраску. Местами при подсыхании может становиться серым с седоватым оттенком за счет присыпки, незаметной во влажном состоянии. По нашим наблюдениям, такие участки приурочены к западинам мелких вывалов. В целом этот подгоризонт характеризуется однородностью свойств; рыхлый, мелкокомковато-комковатый с зернистыми копрогенными агрегатами. Обильно переплетен мелкими корнями растений. Тяжелосуглинистый. В горизонтальном простирании варьируют значения плотности, характера сложения и степени биогенной проработки. Много ходов червей. Переход явный, местами заметный по структуре и появлению буроватых морфем. Нижний подгоризонт – AU2 (27/32–38/41 см), имеет темно-серый фон с пятнами светло-бурого материала (морфемами), которые могут иметь как резкие, так и диффузные границы с вмещающим материалом. При подсыхании местами появляется седоватость. Кроме светло-бурых, встречаются слабоконтрастные темно-серо-буроватые пятна. Их размер, как правило, менее 1 см; а количество их увеличивается от верхней к нижней части подгоризонта. Структура многопорядковая: призмовидные отдельности 2×3 см распадаются на угловато-ореховатые агрегаты с признаками комковатости. Много камер червей и копролитов. Тяжелый суглинок. Внутриагрегатная пористость развита слабо, но за счет неплотной упаковки агрегатов хорошо выражена межагрегатная пористость, благодаря чему горизонт легко рассыпается на структурные отдельности. Среди межагрегатных пор большое количество занимают цилиндрические – ходы корней и червей, местами намечаются вертикальная трещиноватость и гумусовые зеркала. Переход к нижележащему горизонту определяется по увеличению количества бурых пятен и структуре и изменяется от явного к заметному.

Производилась съемка нижней границы тёмногумусового горизонта AU, а также двух подгоризонтов, отражающих переход от гор. AU к гор. BC: горизонты AUb и BAi. Нижнюю границу гор. AU диагностировали по появлению морфем и морфонов с доминированием бурого цвета в окраске. Рельеф нижней границы гор. AU (см. рис. 1, *Б*), в сравнении с переходными горизонтами (см. рис. 1, *В*, *Г*), является наиболее спокойным. Выделяется лишь одна крупная депрессия (см. рис. 1, *Б*, *а*) ветровального генезиса. На фоне плавно изменяющихся границ встречаются отдельные подъемы (см. рис. 1, *Б*, *б*), представляющие собой либо бурые «плавающие комки», либо скопления червоточин со светло-бурым заполнением. Плавность рельефа обусловлена достаточно хорошей проработкой рассматриваемой границы дождевыми червями, отчего демаркационную линию во многих случаях проводили условно, посередине области постепенного перехода.

Образование периодически встречающихся в темногумусовом горизонте светлогумусовых (AY) и гумусово-элювиальных (AEL) морфонов мы свя-

зываем с процессами поверхностного осветления (отбеливания), которые протекали на буграх и в западинах вывалов. Их расположение в профилях соответствует буграм и западинам ВПК. После нивелирования рельефа ВПК образовавшийся осветленный материал вовлекается в копрогенное гумусообразование, приобретая со временем более темную окраску. Наиболее интенсивно этот процесс протекает у поверхности почвы, поэтому морфоны AY, AEL переходят в гор. AU сверху вниз (увеличение мощности происходит постепенно в результате деятельности дождевых червей).

AUb (38/41–49/53 см): окраска неоднородная, на темно-сером и буровато-темно-сером фоне неупорядоченно рассыпаны мелкие бурые пятна (диаметром менее 1 см), что приводит к формированию крапчатости; зачастую пятна, как серые, так и бурые, имеют вертикальную ориентировку, что свидетельствует о вкладе червей в их формирование. Темно-серые пятна преобладают; за счет их перемешивания с бурыми пятнами формируется широкая гамма цветовых переходов. Границы между пятнами встречаются не только диффузные слабоконтрастные, но и резкие контрастные, что может быть связано как со временем их формирования, так и с генезисом. Местами заметны кротовины. При подсыхании окраска принципиально не меняется, но появляются мелкие фрагментарные скелетаны, в том числе каркасные (т.е. те, что остались на месте при отмывке ила) во внутрипедной массе. Структура мелкоореховато-мелкокомковатая. Внутриагрегатная волосистая порозность имеет малое развитие. Ореховатость слабее, чем в гор. AU. Имеются изометрические биогенные поры диаметром до 1–1,5 см. Еще встречаются ходы червей, в основном межагрегатные. В целом межагрегатная порозность выражена слабее, чем в гор. AU2, отчего сложение горизонта более плотное. Переход по окраске и структуре изменяется в пространстве от заметного и явного до постепенного. Граница волнистая.

На рис. 1, *В* приведен рельеф нижней границы гор. AUb. Границу между гор. AUb и BAi проводили на горизонтальном срезе там, где площадь пятен с доминированием в окраске бурого становилась, при движении вниз, больше площади пятен с преобладанием серого. Депрессионная структура (рис. 1, *В*, *а*) переходит из вышележащего горизонта, отчего граница горизонта AUb совпадает с нижней границей гор. AU. В сравнении с вышележащим горизонтом появляется заметно больше небольших изометричных образований, связанных с былыми корневыми ходами (рис. 1, *В*, *г*), которые из-за меньшей активности мезофауны лучше сохраняются. Часть этих образований формирует полиморфоны (рис. 1, *В*, *в*), связанные происхождением с действием вывала дерева, основная масса якорных корней которого заканчивалась на глубине около 50 см. В пространстве между депрессиями и полиморфонами по-прежнему сохраняются достаточно плавные переходы, формирование которых связано с деятельностью мезофауны и мелких корней.

Нижняя часть гумусированной толщи представлена гор. BAi (49/53–62/64). Окраска его неоднородная, между светло-бурой и бурой, с постепен-

ным переходом к серовато-светло-бурой. Серые и серо-бурые пятна зачастую имеют вертикальную ориентировку, что в основном связано с ходами червей. Имеются резкие границы между серым и бурым материалом. По редким граням заметны тонкие, слабоконтрастные коричневато-бурые кутаны, есть они и по ходам корней. Выраженность их в горизонтальном простирании неодинакова. Более выражена волосная внутриагрегатная пористость. Глина. Структура переходная от комковатой к ореховато-комковатой и мелкопризматически-комковатой, зависит от выраженности граней. В сравнении с вышележащими горизонтами грани становятся крупнее, реже, отчего у выламывающихся агрегатов многие поверхности неровные. Резко уменьшается количество цилиндрических пор. Единичные мелкие корни, кротовины. Преобладают поры по ходам корней. Переход постепенный по окраске и структуре.

Рельеф нижней поверхности гор. BAi в целом похож на предыдущий горизонт, но от гор. AU отличается явным увеличением числа изометричных понижений, образование которых можно связать как с вывальными явлениями, когда в результате выдергивания нескольких корней в дальнейшем, по мере заполнения западины, формируются полиморфоны (рис. 1, *Г*, *в*), так и с ходами крупных корней (рис. 1, *Г*, *г*), гумусированный материал в которые мог попадать при засыпке и без ветровала.

BCi (62/64–86 см): светло-бурый фон с диффузными слабоконтрастными серовато-светло-бурыми пятнами и ореолами. В диапазоне глубин 60–70 см появляются россыпи железисто-марганцевых нодулей. Встречаются кротовины темно-серые, а также серовато-светло-бурые. Единичные корни, как мочковатые, так и крупные. Трещинная сеть редкая; грани трещин покрыты тонкими слабоконтрастными коричневато-бурыми кутанами, имеющими большую толщину. По магистральным трещинам кутаны перекрыты сеткой корней, часть из которых уходит в нижележащие горизонты. Магистральные трещины начинаются в этом горизонте и уходят вглубь, вплоть до гор. BCfe,g,mn. Достаточно хорошо развита волосная пористость; ходы червей единичны; цилиндрические поры представлены в основном корневыми ходами. Структура комковато-крупноглыбистая с преобладанием у отдельностей поверхностей изломов, измятые грани встречаются редко. Переход по увеличению числа и размера Fe-Mn-нодулей, уменьшению выраженности межагрегатных кутан и исчезновению малоконтрастных серых примазок.

Глубже расположены переходные к почвообразующей породе горизонты с преобладанием геохимических признаков почвообразования.

BCmn (86–111 см): фон светло-бурый, с очень слабоконтрастными ржаво-охристыми разводами и россыпью железисто-марганцевых нодулей (с преобладанием марганцевых) диаметром 1–1,5 мм, реже 2–3 мм. Ходы корней с темно-бурой окраской стенок. Глина. Мелкоглыбистая делимость. Единичные кутаны по магистральным трещинам, местами довольно мощ-

ные, темно-бурые. Встречаются кротовины диаметром 6 см, с серым и буровато-серым пестроватым (крапчатым) заполнением. Единичные корни. Переход постепенный по появлению слабоконтрастных охристых разводов вокруг оглеенных морфонов с диффузными и резкими краями.

BCfe,g,mn (111–160 см): на буровато-сизом с ржаво-охристым оттенком фоне разбросаны сизые и ржаво-охристые пятна. Последние зачастую приурочены к старым трещинам, рисунок которых хорошо различается на горизонтальном срезе. В горизонте обильны железисто-марганцевые нодули, местами образующие скопления до 12–15 см в диаметре. Нодули по твердости не отличаются от вмещающей массы и за счет прокраски соединениями железа, особенно сильно накапливающимися по периферии, имеют скорее коричневый, чем черный цвет. Встречаются чистые железистые нодули, количество которых увеличивается вглубь горизонта. Глина. Бесструктурный. Кутаны развиты по современным (без охристого окаймления) и старым трещинам. Переход заметен по окраске.

Gox (160–200): горизонт редуцированного глея. На сизом с буровато-охристым оттенком фоне распределены диффузные слабоконтрастные пятна соединений железа. Заметно уменьшаются количество и размер железисто-марганцевых нодулей, обильными становятся ржаво-охристые нодули железа. Тонкие темно-бурые кутаны по редким трещинам заходят из вышележащих горизонтов и по ходам корней.

В трещинной сети двух нижних горизонтов можно выделить два варианта (вероятно, две генерации) трещин. Первый вариант представлен полыми трещинами с железистыми ореолами (см. рис. 2). Мы предполагаем, что эти трещины были сформированы в тот период, когда исследуемая территория была значительно слабее расчленена овражной сетью; уровень грунтовых вод был намного выше, что определяло постоянно высокую влажность почвенной толщи. В таких условиях в нижней части профиля формировался глеевый горизонт, редкая трещинная сеть которого позволяла попадать водам и воздуху, насыщенному кислородом, в результате чего вокруг трещин формировались окислительные геохимические барьеры и накапливались (гидр)оксиды Fe, формируя ожелезненные ореолы. Впоследствии, в периоды сведения лесов и распашки территории, происходил рост овражной сети, которая внедрялась все глубже в плоские водоразделы, что привело к падению уровней грунтовых вод, окислительной редукции глеевого горизонта и перестройке трещинной сети, в результате чего появилась трещинная сеть второй генерации (рис. 2). В связи с понижением уровня грунтовых вод произошло освобождение порового пространства от капиллярных вод и усилились процессы лессиважа; в трещинах второй генерации наблюдаются однослойные (?) гумусово-глинистые кутаны различной толщины, сформированные материалом, мобилизованным в гумусовом горизонте. Часть современных трещин сопряжена с гумусовыми заклинками по ветровальным нарушениям, что позволяет предположить, что эти трещины существуют

достаточно давно, так как проникновение корней по ослабленным участкам горизонтов является вторичным явлением в сравнении с формированием самих этих участков (трещин).

*Признаки ветровалов в исследованных почвах*. Траншеи закладывались в фоновых почвах без выраженного ветрового микрорельефа, т.е. возраст вывальных нарушений во всех случаях был достаточно большим. При этом в обеих описанных траншеях были диагностированы признаки ветровальных нарушений.

В траншее № 11-1 (см. рис. 2) были описаны следы четырех ветровалов. Как видно из схемы, диапазон от 150 до 530 см по горизонтали занят предельным структурным элементом почвенного покрова, образованным двумя ветровалами. Глубина структур, связанных с ветровалами, составляет около 140 см (дно ветровальной западины). С двух сторон к ним примыкают фоновые педоны, для которых, однако, также диагностированы ветровальные нарушения: сравнительно мелкая западина вывала в диапазоне от 20 до 60 см; западина вывала глубиной около 120 см в диапазоне от 570 до 640 см – дно западины очерчено вогнутым морфоном оливковой окраски, над которым залегает гор. BCi с красноватым оттенком.

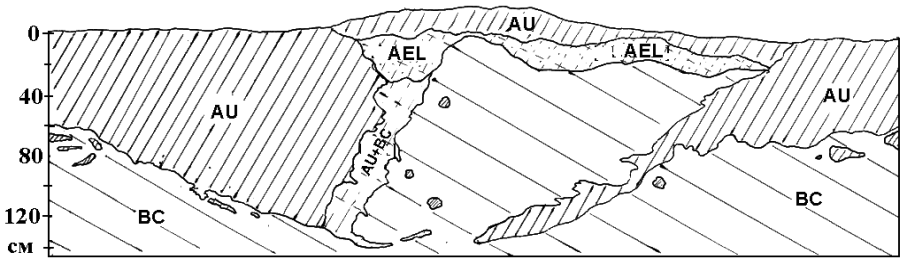



Рис. 3. Схема строения темногумусовой почвы со следами провернутого вывала. Траншея 96-1 выполнена в плоскости оси падения дерева (ствол упал влево относительно наблюдателя, после чего основание ствола с материалом почвенного кома переместилось вправо, в западину вывала), по [3]

Наблюдаемая картина поразительно напоминает облик профиля темногумусовой почвы (разрез 96-1), описанной нами ранее на этом же участке заповедника (рис. 3). Принципиальное отличие данных профилей в том, что в траншее № 11-1 (рис. 2; 4, *А*, *Б*) представлены следы двух крупных провернутых вывалов; траншея пересекает оси падения деревьев; строение профиля почвы в траншее № 96-1 (рис. 3) связано с одним крупным провернутым вывалом; траншея выполнена по оси падения дерева. Различия хорошо заметны при рассмотрении структур, описанных в траншее № 11-1, перпендикулярных профилю, показанному на рис. 2 (правой стороной примыкают к линии I–II). Полиморфон на рис. 4, *А* соответствует вывалу, расположенному в правой части траншеи №11-1 (расположен примерно на 450 см

траншеи), а на рис. 4, *Б* приведена фотография отпрепарированной поверхности этого морфона, на ней хорошо видна чашевидная форма морфона, что доказывает ее ветровальный генезис, путем отсыпки материала гор. AU на дно западины. Аналогичная структура залегает в диапазоне от 150 до 270 см по стенке траншеи № 11-1 (см. рис. 2). Между собой эти чашевидные морфоны не соединяются, что указывает на их формирование при вывале двух расположенных рядом деревьев.

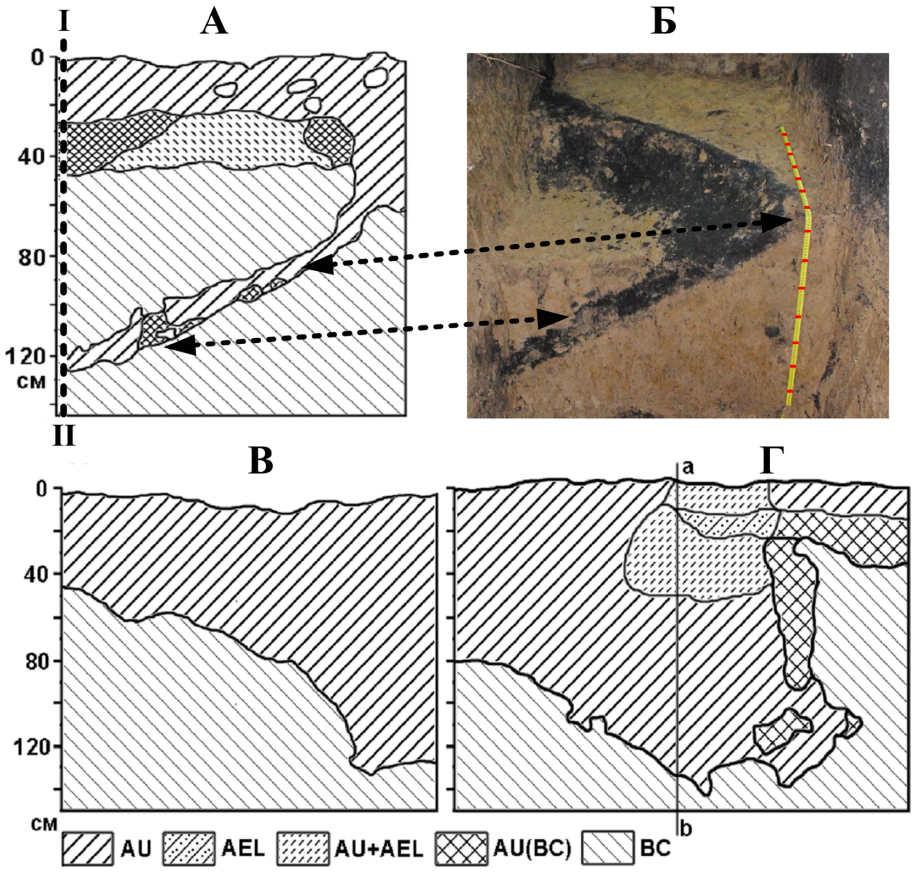



Рис. 4. Полиморфоны в темногумусовых почвах. *А* – темногумусовая отсыпка по дну западины в гор. BC. Траншея № 11-1. Сечение перпендикулярно простиранию и примыкает левой стороной к линии I–II, обозначенной на рис. 2. *Б* – отпрепарированная чашевидная поверхность темногумусовой засыпки (см. рис. 4, *А*). *В* – передний клин западины с темногумусовой отсыпкой в траншее № 11-2 (срез перпендикулярен линии *a–b* на рис. 4, *Г*). *Г* – передний (слева) и задний клинья западины провернутого вывала в траншее № 11-2

На рис. 4, *В*, *Г* показана схема строения темногумусовой почвы в траншее № 11-2, выполненной неподалеку от траншеи № 11-1. В обеих проекци-

ях видна структура, сформированная в результате формирования мощного провернутого вывала. Разрез на рис. 4, *В* выполнен перпендикулярно оси падения дерева в наиболее глубокой части переднего клина западины – видны фоновая мощность гор. AU (45–60 см) и его заглубление в результате отсыпки гумусированного материала в западину до глубины 130 см (рис. 1, *А*). Стенка на рис. 4, *Г* перпендикулярна стенке на рис. 4, *В*, здесь разрез выполнен по оси (или почти по оси) падения дерева (направление падения ствола – влево относительно наблюдателя). Основную часть на рис. 4, *В* занимает изображение переднего клина провернутого вывала; справа находится материал BC в центральной части западины, повернутый и перемещенный назад при вывале, но практически не перемешанный с гор. AU.

Проведенная морфогенетическая характеристика заложенных траншей позволяет заключить, что для темногумусовых почв характерны два уровня ветровальной неоднородности: 1) меньшая по размерам мозаика морфонов в пределах от дневной поверхности до нижней части гумусированной толщи; 2) следы ветровалов в глубоких горизонтах (гор. BC вплоть до 150 см).

В связи с этим представляется интересным обсуждение идеи Е.В. Пономаренко [4], согласно которой многократные педотурбации постепенно увеличивают мощность гумусового горизонта. В результате климаксные лесные почвы характеризуются наличием мощного гумусового горизонта в пределах корнеобитаемого слоя деревьев. М.В. Бобровским темногумусовые почвы засек рассматриваются в качестве примера таких почв [1, 5].

Как видно из изложенных выше результатов, в темногумусовых почвах «Калужских засек» такому критерию соответствуют только почвы, пройденные вывалами мощностью до 50–70 см. Участки же со следами вывалов мощностью 70–150 см приводят, с одной стороны, к увеличению мощности гумусового горизонта (местами до 130 см) за счет отсыпки материала гор. А в западину, с другой – к разрыву гумусового горизонта в результате поворота выноса на поверхность материала нижних горизонтов (при повороте почвенного кома вывалом). В результате описанные почвы не соответствуют критериям, предъявленным выше к климаксным почвам. По нашему мнению, можно представить несколько причин того, что глубина западин некоторых вывалов в данных почвах больше мощности гумусового горизонта (при этом несколько причин могли действовать одновременно):

1. Мощность крупных вывалов не может быть критерием мощности перемешивания материала гумусового горизонта, поскольку произошло изменение глубины вывалов со временем – ее уменьшение (а) или увеличение (б):

а) мощность вывалов со временем уменьшилась, и более мелкие вывалы не имели возможности стереть следы более мощных древних вывалов (уменьшение глубины вывалов могло быть связано с уменьшением максимального размера деревьев). Эта гипотеза плохо согласуется с нашими результатами сравнения мощностей древних и современных ветровалов, показывающих их сходство;

б) вначале мощность вывалов не превышала 60 см (современная мощность гор. AU), однако затем глубина вывалов увеличилась. При этом более молодые мощные вывалы еще не успели полностью перемешать почвенную толщу на соответствующую глубину, поэтому мощность гор. AU меньше глубины западин многих вывалов. Увеличение мощности вывалов может быть связано с более глубоким распространением корневых систем деревьев. Последнее может объясняться уменьшением степени увлажнения почв в результате как общей аридизации региона, так и увеличения базиса эрозии (вследствие углубления овражно-балочной сети). Известно, что в более влажных условиях деревья формируют более поверхностные корневые системы [4, 5]. Данное предположение согласуется с описанным выше строением трещинной сети в темногумусовых почвах.

2. Мощность вывалов не менялась со временем, но глубокие провернутые вывалы, способствующие углублению гумусового горизонта, не успели перемешать всю толщу почвы. Этому могут быть две причины (не исключающие друг друга):

а) недостаточная «древность» почв: со времени начала почвообразования прошло недостаточно времени для того, чтобы была гумусирована вся толща почвы, оборачиваемая вывалами;

б) описываемые почвы являются достаточно древними, однако глубокие вывалы были сравнительно редким событием, и поэтому не смогли перемешать верхнюю толщу почвы.

3. Вывалы деревьев являются существенным, но не главным фактором, определяющим мощность гумусового горизонта. Глубина перемешивания почвы и заглубления гумусированного материала, мощность гор. AU «фоновых» педонов связаны, в первую очередь, с глубиной проработки почвы педофауной (прежде всего, дождевыми червями). Лабораторные эксперименты показывают, что черви осваивают весь объем предоставленной им почвы, однако наиболее активное перемешивание почвенной массы происходит на глубину до 60 см [9], что соответствует фоновым мощностям гор. AU в изученных темногумусовых почвах.

## Заключение

Формирование и разрушение корневых систем деревьев (ризотектоники), ветровалы приводят к углублению нижних границ почвенных горизонтов. Исходя из того, что корни взрослых деревьев проникают на сходные глубины, можно сформулировать следующее правило: в почвенном профиле длительно лесных территорий должен выделяться хотя бы один горизонт, нижняя граница которого была бы обусловлена глубинами проникновения основной массы якорных корней и оборачивания ими почвенной массы при ветровальных явлениях. Однако, учитывая наличие корневых систем деревьев, отклоняющихся по габитусу от средних параметров, как правило,

можно выделить еще один или два подгоризонта с границами, залегающими выше и ниже фоновой. В темногумусовых почвах заповедника «Калужские засеки» мощность гумусового горизонта фоновых педонов составляет 40–60 см; на этих участках мощность гор. AU, вероятно, определяется как глубинами западин вывалов, так и глубиной перемешивания почвы мезофауной. Заметную площадь (до 50%) занимают участки, где глубина западин прошлых вывалов заметно больше мощности гор. AU фоновых педонов (100–150 см). Здесь профиль темногумусовой почвы имеет преимущественно мозаичное строение и состоит из предельных структурных элементов.

*Благодарим руководство заповедника «Калужские засеки» за предоставленную возможность проведения исследований и содействие в выполнении работы.*

## Литература

1. *Бобровский М.В.* Автоморфные почвы заповедника «Калужские засеки» и их генезис // Труды государственного природного заповедника «Калужские засеки». Калуга : Полиграф-Информ, 2003. Вып. 1. С. 10–55.
2. *Классификация* почв России. М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 1997. 235 с.
3. *Пономаренко Е.В., Офман Г.Ю.* Разнообразие почвенного покрова и эталонное значение почв // Обоснование организации заповедника «Калужские засеки». М., 1990. С. 41–52. Рукопись. (Архив ФГУ ГПЗ «Калужские засеки»).
4. *Пономаренко Е.В.* Методические подходы к анализу сукцесионных процессов в почвенном покрове // Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия / под ред. О.В. Смирновой, Е.С. Шапошникова. СПб. : РБО, 1999. С. 34–57.
5. *Бобровский М.В.* Лесные почвы: биотические и антропогенные факторы формирования // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / отв. ред. О.В. Смирнова. М. : Наука, 2004. Кн. 1. С. 381–427.
6. *Бобровский М.В.* Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 359 с.
7. *Корнблюм Э.А.* Основные уровни морфологической организации почвенной массы // Почвоведение. 1975. № 9. С. 36–48.
8. *Захарченко А.В., Захарченко Н.В.* Опыт трехмерной морфометрии поверхностей почвенных горизонтов в натурных исследованиях // Почвоведение. 2006. № 2. С. 153–160.
9. *Bastardie F., Capowiez Y., Cluzeau D.* 3D characterisation of earthworm burrow systems in natural soil cores collected from a 12-year-old pasture // Applied Soil Ecology. 2005. Vol. 30. P. 34–46.

*Поступила в редакцию 15.08.2012 г.*

*Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 7–20*
doi: 10.17223/19988591/20/1

**Maxim V. Bobrovsky[1], Sergey V. Loyko[2], Georgy I. Istigechev[2], Ivan V. Krickov[2]**

*[1]Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Sciences of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow region, Russia*
*[2]Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## TRACES OF THE WINDFALL PEDOTURBATIONS IN THE DARK-HUMUS (HAPLIC PHAEOZEM) SOIL IN THE «KALUZSKIE ZASEKI» RESERVE

*We analyzed the morphological structure of the dark-humus (Haplic Phaeozem) soil in the old-growth oak forest massive located in South district of the Reserve «Kaluzskie zaseki» (Kaluga region, European part of Russia). The dark-humus soils occur relatively rare in the Reserve; they are situated inside vast areas of sod-podzolic and grey soils (Luvisols). The dark-humus soils are confined to areas of very erosive relief in the Reserve's South district, but one can find these soils in ravines' slopes and in flat areas (placors) as well.*

*Typical dark-humus soils have a AU – C structure, where AU is a dark-humus horizon, and C is a soil-forming rock. The usual power of AU horizon in this soil doesn't exceed 30 cm. However, in the Reserve the power of the AU horizon in the dark-humus soils varies from 40 to 112 cm with the average 68.0±4.2 cm. The aim of our work was to investigate dark-humus soils morphology and to assess inputs of trees' windfalls in soil formation.*

*Several long soil profiles (trenches) up to 6 meters were studied by means of the detailed morphological analysis at the levels of horizons and separate morphons. Traces of old trees' windfalls with uprooting were identified in almost all soil profiles. On the basis of the structure of the studied trenches, we marked two types of structure elements in the soil cover. The first one (we named this pedons) is good marked at the soil profile background; profiles' horizon structure is less complicated by windfall mosaics (by windfall poly-morphones) here. The second one is 'the limit structural elements'. They are marked in the profiles where profiles' horizon structure is greatly transformed by trees' windfalls with uprooting.*

*We have shown that formation and destruction of trees' roots as well as trees' windfalls lead to the deepening of the lower boundaries of soil horizons. The depths of roots are similar for many forest tree species, so we can wait for the following: in a long-term forest area in a soil profile at least one horizon should be caused by the depth of trees' anchor roots and by the soil turning after tree falls with uprooting. Since root systems of trees deviated from the habit average parameters, there is one or two additional horizons with boundaries above and below the background.*

*In the dark-humus soils in the «Kaluzhskie zaseki» Reserve, the depths of the humus horizon vary from 40 to 60 cm on typical sites. This depth is determined by the power of old windfalls and soil fauna activities. 'Non-typical' soils have mosaic profiles, the depths of the old windfalls in these soils range within 120–150 cm.*

**Keywords**: *windfalls; Haplic Phaeozem; Kaluzskie zaseki; broad-leaved forests.*

*Received August 15, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 21–35*

УДК 631.4
doi: 10.17223/19988591/20/2

**Г.А. Конарбаева, В.Н. Якименко**

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск)*

# СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЛОГЕНОВ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*В проведенных исследованиях определено содержание галогенов и установлены закономерности их распределения в профиле целинных и пахотных серых лесных почв юга Западной Сибири. Выявлено, что концентрация галогенов в исследуемых почвах находится на уровне, характерном для зональных почв региона, и не превышает предельно допустимые концентрации. Показано, что длительное внесение минеральных удобрений в агроценозе привело к существенному повышению в почве содержания фтора и хлора; при этом распределение фтора по почвенному профилю носило убывающий характер с максимумом в верхнем горизонте, а распределение хлора в профиле почв было равномерным. Содержание водорастворимого йода в пахотном слое почв интенсивных агроценозов значительно снизилось, в то время как его валовое количество не изменилось.*

***Ключевые слова:*** *почва; содержание галогенов; удобрения; агроценоз; антропогенная экосистема.*

## Введение

Изучение содержания и распределения галогенов в различных природных объектах окружающей среды, прежде всего в почвах как в начальном звене цепочки «почвы – воды – растение – животные – человек», является весьма актуальным как с эколого-биогеохимических, так и с почвенно-агрохимических позиций. Физиологическая потребность в галогенах (за исключением брома) для нормального функционирования живых организмов давно установлена, равно как и тот факт, что при избыточном их поступлении и накоплении в экосистемах эти элементы, особенно фтор, могут оказывать негативное воздействие на свойства почвы и качество растительной продукции [1, 2 и др.].

Особенности содержания и распределения галогенов в почвах и растениях естественных и антропогенных экосистем юга Западной Сибири рассматриваются в ряде работ [3, 4 и др.]. Однако многие вопросы, связанные с накоплением этих элементов в почвах, изучены недостаточно. Так, например, исследования изменения содержания галогенов в почвах агроценозов при длительном внесении минеральных удобрений, в состав которых входят галогены, весьма немногочисленны и, как правило, посвящены одному из галогенов. В этой связи нам представляется целесообразным проведение комплексных исследований поведения галогенов в почвах разных экосистем юга Западной Сибири.

## Материалы и методики исследования

Объектами исследований послужили серые лесные почвы юга Западной Сибири: целинные (естественные экосистемы) и пахотные (антропогенная экосистема – многолетний стационарный полевой опыт). Наиболее важные физико-химические свойства исследуемых целинных серых лесных почв приведены в табл. 1. Почвенные образцы были отобраны из разрезов, заложенных в различных точках южной части Васюганской равнины и северной части Барабинской равнины. Реакция почвенной среды – слабокислая. Содержание гумуса вниз по профилю заметно снижается, гранулометрический состав свидетельствует об обеднении верхних горизонтов илом.

Таблица 1

**Основные физико-химические свойства исследуемых целинных серых лесных почв**

| Горизонт | Глубина, см | pH | Содержание, % | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Гумус | Физ. глина | Ил |
| $A_1$ | 0–10 | 5,00–5,20 | 4,75–4,92 | 27,60–29,96 | 16,89–18,12 |
| $A_1A_2$ | 20–30 | 5,61–5,92 | 1,93–2,08 | 30,15–31,67 | 17,65–18,12 |
| B | 35–45 | 5,86–5,95 | 0,80–0,92 | 30,94–32,44 | 18.45–19,41 |
| $B_1$ | 60–70 | 6,10–6,25 | 0,13–0,17 | 33,18–34,61 | 21,79–23,81 |
| C | 100–110 | 6,20–6,43 | 0,07–0,09 | 36,98–37,67 | 24,56–26,16 |

Почва полевого опыта, заложенного в 1988 г. [5], имела следующие характеристики (слой 0–20 см): содержание гумуса – 4,9%, физической глины – 30,8%, емкость катионного обмена – 21,1 мг-экв./100 г; валовое содержание азота – 0,22%, фосфора – 0,15 (подвижного – 18 мг/100 г), калия – 1,5% (обменного – 12 мг/100 г); почвообразующая порода – лессовидный карбонатный суглинок. Данная почва является достаточно типичной для лесостепной зоны Приобья, расположена на высокой террасе р. Бердь (Искитимский р-н, Новосибирская обл.); территория хорошо дренирована, высота над урезом реки составляет 35–45 м.

Схема опыта включала различные варианты, из которых в данном сообщении рассматриваются наиболее контрастные: вариант 1 – непрерывный многолетний пар (без растений и удобрений), 2 – без удобрений (контроль), 3 – NP, 4 – NP + K1, 5 – NP + K2. Выращивали картофель в монокультуре; дозы вносимых в опыте минеральных удобрений: N – 100, P – 60, K1 – 60 и K2 – 120 кг д.в./га. Удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия вносили ежегодно весной перед посадкой клубней.

Полевой опыт с многолетним систематическим внесением минеральных удобрений в виде хлорида калия (содержание хлора до 45%) и двойного суперфосфата (содержание фтора до 1,5%) позволяет исследовать поведение в почве агроценоза двух галогенов – хлора и фтора. Кроме того, параллельно

можно изучить и йодид-анион в связи с наличием общих черт в геохимии йода и легкорастворимых солей, к которым относится хлорид калия: там, где аккумулируются соли, часто накапливается и йод [6]. По валовому количеству любого элемента в почве трудно судить об экологической ситуации в экосистемах, поэтому определение водорастворимых форм, как самых мобильных, является важным с точки зрения оценки их возможностей поступления в растения и накопления в грунтовых водах.

Для определения содержания галогенов в почвенных образцах использованы следующие методы: валовое содержание фтора – спектрофотометрическим с ализаринкомплексоном [7], йода – кинетическим роданидно-нитритным методом [8]. Водорастворимую форму фтора определяли потенциометрическим, йода – роданидно-нитритным методами, хлора – методом Мора. Остальные анализы выполнены по общепринятым методикам.

## Результаты исследования и обсуждение

Результаты исследований показали, что различная химическая активность галогенов, специфика процессов их адсорбции-десорбции и другие факторы обусловили особенности распределения этих элементов в почвах естественных и антропогенных экосистем.

**Фтор.** В профиле исследуемых серых лесных почв концентрация валового фтора варьирует на уровне 220,0–290,0 мг/кг (рис. 1), что несколько выше, чем в дерново-подзолистых почвах, и ниже, чем в черноземах юга Западной Сибири, что обусловлено их промежуточным положением в ряду этих почв [3].

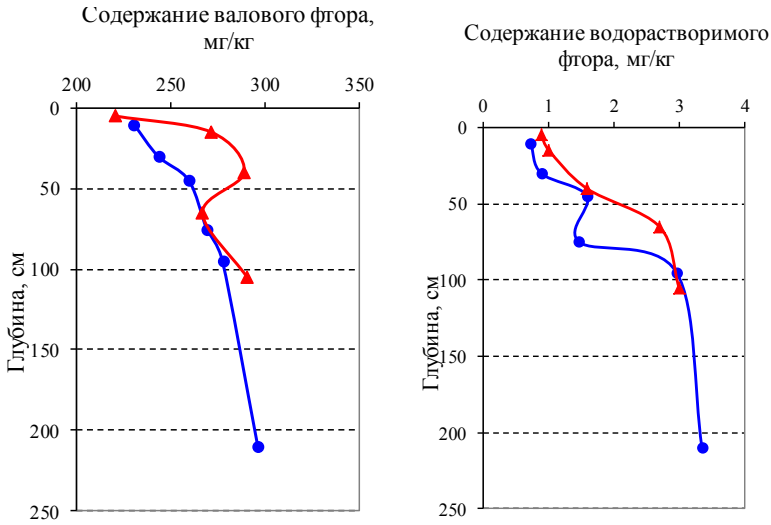



Рис. 1. Содержание фтора в серых лесных почвах естественных экосистем
▲ – север Барабинской равнины, ● – юг Васюганской равнины

Усиление развития дернового процесса в серых лесных почвах в сравнении с дерново-подзолистыми теоретически должно было привести к более высоким концентрациям галогена. Однако этого не произошло по ряду причин. Основная – инертность фтора к органическому веществу почвы, что привело к малочисленности возможных химических реакций между ними. Далее, гумусовые и элювиальные горизонты в этих почвах обеднены илистыми частицами (max – 20,0%) и физической глиной (max – 31,0%) в сравнении с нижележащим горизонтом В (max – 38%), что связано с перемещением ила вниз по профилю почвы в процессе выщелачивания и свидетельствует о снижении уровня накопления фтора в этих горизонтах. Более того, в элювиальных горизонтах в первую очередь разрушаются наиболее тонкодисперсные частицы монтмориллонитовых минералов, способных к сорбции фтора, и в меньшей степени – более грубодисперсные каолинит и иллитовые минералы [9]. А кислая реакция почвенной среды (5,0–5,9), свойственная верхним горизонтам, и периодически промывной тип водного режима также не способствуют аккумуляции в нем фтора. Вместе с тем быстрое убывание содержания гумуса с глубиной косвенно указывает на то, что концентрация элемента в этом направлении может потенциально возрастать, так как остальные компоненты почвы способны к активной сорбции галогена или к взаимодействию с ним.

Фтор, несмотря на свое значительное содержание в зональных почвах, в том числе и в серых лесных почвах, обладая самой высокой химической активностью среди других элементов, не может находиться длительное время в свободном состоянии, а будет вступать в различные химические реакции. Это заметно снизит степень его вредного воздействия на почву ввиду образования труднорастворимых или комплексных соединений, что является положительным моментом с позиций экологии.

В связи с отсутствием ПДК на фтор по ГОСТу обычно ориентируются на литературные данные, в соответствии с которыми допустимым уровнем содержания валового фтора в почве принято считать 500, критическим – 500–1 000, недопустимым – более 1 000 мг/кг [10]. Согласно этим цифрам, валовое содержание фтора в серых лесных почвах следует оценить как соответствующее допустимому уровню.

Концентрация водорастворимого фтора в почвах оценивается согласно следующим критериям: ПДК равна 10, допустимым уровнем считается 0–10, критическим 10–30, недопустимым – более 30, фон – 1,5 мг/кг [11]. Коэффициент водной миграции фтора составляет всего 1,04, что ниже, чем у других галогенов, и обусловлено не только слабой растворимостью большинства его соединений, но и малой подвижностью фторид-аниона [12]. Его концентрация в изучаемых почвах региона варьирует в интервале 0,7–3,0 мг/кг, что соответствует уровню в аналогичных почвах других регионов [13] и находится в пределах допустимого.

Остановимся теперь на ситуации с фтором в антропогенной системе. Содержание валового фтора в гумусовом горизонте исследуемой почвы (целин-

ный участок полевого опыта) составляло 280–285 мг/кг и вполне укладывалось в характерный для региона интервал значений; вниз по профилю оно несколько снижалось (рис. 2). Многолетнее систематическое внесение фосфорных удобрений закономерно отразилось на уровне фтора в почве агроценоза. В вариантах NP и NPK содержание валового фтора в пахотном слое почвы возросло до 320–387, а в подпахотном (20–40 см) – до 305–350 мг/кг (на контроле – 280). Ниже по профилю (слой 40–60 см) количество валового фтора в почве различных вариантов опыта практически не различалось и составляло около 240–260 мг/кг.

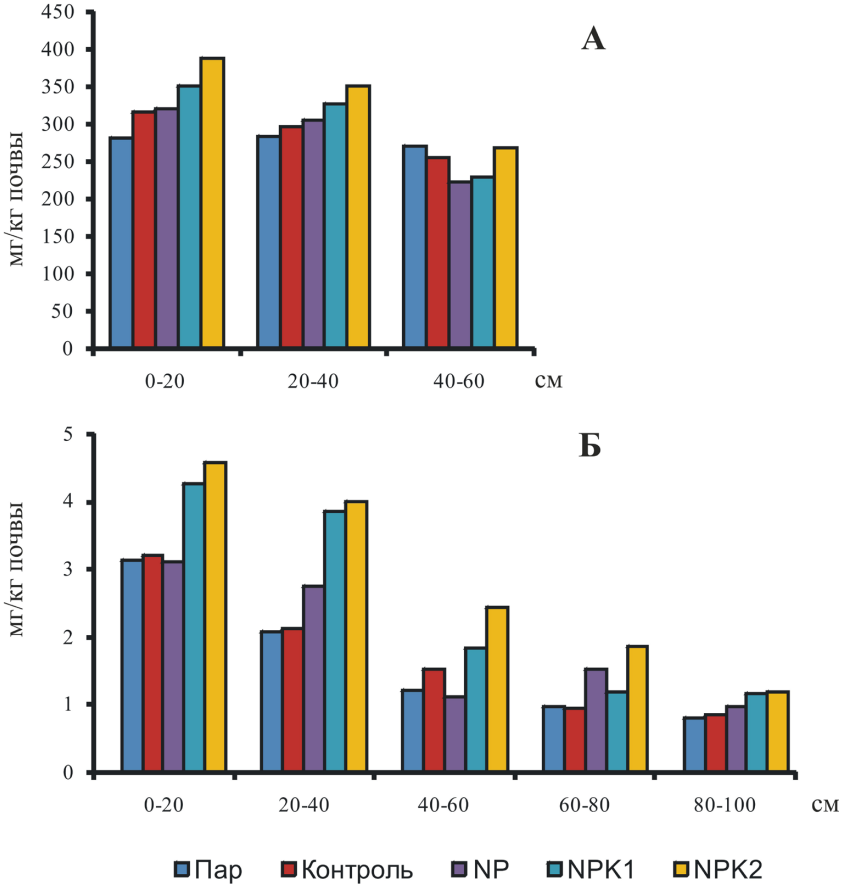



Рис. 2. Содержание валового (*А*) и водорастворимого (*Б*) фтора в почве агроценоза

Согласно литературным данным, внесение фторсодержащих удобрений и мелиорантов в пахотный слой почвы, как правило, не приводит к увеличению его содержания в нижележащих слоях почвенного профиля по срав-

нению с контрольным вариантом [14, 15]. В проведенных ранее исследованиях [3] по мелиорации солонцов фосфогипсом были получены подобные результаты: валовое содержание фтора в почве при внесении различных доз мелиоранта возросло лишь в слое 0–10 см.

Очевидно, что основная фиксация поступающего в почву фтора (илистой фракцией, полуторными оксидами и др.) происходит непосредственно в зоне внесения. Такая ситуация обусловлена высокой химической активностью фтора, который при поступлении в почву быстро и прочно связывается её компонентами. В этой связи следует отметить слабую растворимость флюорита ($CaF_2$), селлаита ($MgF_2$), а также фторидов других щелочноземельных металлов, алюминия и железа.

Результаты исследований показали, что, несмотря на одинаковые дозы вносимых фосфорных удобрений в вариантах NP и NPK, содержание валового фтора в почве опыта закономерно возрастает от варианта NP к NPK2, т.е. по мере увеличения доз вносимых калийных удобрений.

По-видимому, значительная концентрация хлорид-аниона в почве вариантов NPK, способного конкурировать с фторид-анионом, препятствовала, в определенной степени, его взаимодействию с теми компонентами почвы, которые потенциально ответственны за концентрацию водорастворимого фтора, способствуя его переходу в фиксированное состояние. Известно, что анион хлора более подвижен, чем анион фтора; кроме того, фтор всегда одновалентен, а хлор обладает ярко выраженной способностью к окислению и восстановлению и, соответственно, имеет переменную валентность, что, несомненно, играет роль в процессах, происходящих в почве. Такое ионное состояние, характерное для хлоридов, благодаря высокой растворимости солей хлора, оставляет приоритет за этим галогеном. Однако данное наше предположение можно считать дискуссионным.

При всей важности и значимости данных по валовому фтору, позволяющих представить его распределение в почвенном профиле и уровне накопления в почве, его поведение в системе почва – растение определяется концентрацией подвижных форм элемента, т.е. количеством фторид-анионов, не связанных прочно с компонентами почвы и способных к миграции.

Содержание водорастворимого фтора во всех вариантах полевого опыта тесно коррелировало с валовым его количеством, а распределение по почвенному профилю носило одинаковый, равномерно убывающий характер (рис. 2). Максимальное содержание галогена отмечалось в пахотном горизонте всех вариантов как с внесением удобрений, так и без них, минимальное – в нижней части профиля (слой 80–100 см). Следует отметить, что по мере продвижения вниз по профилю различия между вариантами по концентрации водорастворимой формы фтора сглаживались.

Известно, что фторид-анионы могут активно фиксироваться глинистыми минералами по механизмам сорбции и обмена, образовывать труднорастворимые соединения с щелочноземельными металлами – кальцием и магнием.

Исследуемая нами почва агроценоза имеет небольшое утяжеление гранулометрического состава к нижней части профиля (с 31 до 33–34% физической глины) и подстилается лессовидными карбонатными суглинками. Очевидно, что при этом количество трехслойных глинистых минералов вниз по профилю увеличивается, равно как и нарастает активность кальциевого геохимического барьера. Данное обстоятельство и обусловливает значительное снижение уровня водорастворимого фтора вниз по профилю почвы.

Существенное повышение содержания водорастворимого фтора произошло в верхней части профиля почвы вариантов NPK, особенно в пахотном слое (табл. 2). Учитывая, что дозы вносимых фосфорных удобрений на всех удобряемых вариантах были равны, причиной заметного увеличения концентрации фторид-анионов в почве вариантов NPK служат, на наш взгляд, следующие обстоятельства.

Таблица 2

**Содержание валового и водорастворимого хлора в серых лесных почвах естественных экосистем, мг/кг почвы**

| Горизонт | Глубина отбора образца, см | $Хлор_{вал}$ | | $Хлор_{водораст.}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| $A_1$ | 0–20 | 48,3 | 52,9 | 47,0 | 51,2 |
| $A_1A_2$ | 25–35 | 49,6 | 52,8 | 48,2 | 48,1 |
| $A_2B$ | 40–50 | 51,4 | 47,6 | 49,6 | 44,2 |
| B | 70–80 | 46,1 | 49,4 | 44,3 | 46,5 |
| BC | 90–100 | 47,4 | 54,7 | 45,1 | 48,3 |
| $C_к$ | 200–220 | 55,6 | 56,2 | 52,9 | 51,0 |

*Примечание.* 1 – юг Васюганской равнины; 2 – север Барабинской равнины.

Во-первых, содержание обменного кальция (340–350 мг/100г) и магния (8–9 мг) в верхней части почвенного профиля вариантов NPK заметно ниже, чем в NP (соответственно 375 и 12 мг/100 г), что связано с интенсивным выносом из почвы этих элементов культурами при оптимизированном питании. Снижение содержания щелочноземельных элементов в почвенном растворе способствовало, вероятно, некоторому относительному повышению мобильности фторид-анионов.

Во-вторых, почва вариантов NP и NPK значительно различалась между собой по содержанию обменного и водорастворимого калия. Так, концентрация калия в почвенном растворе пахотного слоя варианта NP составила 0,5 мг/100 г (из-за длительного сильно дефицитного калийного баланса), тогда как в вариантах NPK – 3–6 мг. Принимая во внимание некоторое снижение содержания щелочноземельных обменных катионов в почве вариантов NPK (по сравнению с NP), можно полагать, что доля калия в составе обменных катионов почвы этих вариантов заметно возросла. В то же время известно, что фториды щелочных металлов (K и Na), в отличие от фторидов Ca и Mg, очень хорошо растворимы в воде и способны к активной миграции

в почве. Очевидно, что в почве с повышенным уровнем калия интенсивность образования его соединений с фтором возрастала (по сравнению с почвой с истощенным калийным фондом), соответственно увеличивалось и содержание подвижных фторид-анионов.

Длительное внесение фосфорных удобрений не привело к повышению концентрации водорастворимого фтора в почве агроценоза до токсичного уровня. Содержание элемента в почве удобряемых вариантов, хотя и заметно возросло по сравнению с неудобрявшимися (см. рис. 2), тем не менее было значительно ниже его ПДК, равной 10 мг/кг. Как мы полагаем, причиной послужили невысокая интенсивность водной миграции и слабая подвижность фторид-аниона. Склонность фтора к образованию прочных комплексных анионов типа $[AlF_6]^{3-}$, $[SiF_6]^{2-}$ и $[BF_4]^-$ также способствует снижению уровня его водорастворимой формы. Устойчивость галогенидных комплексов, как правило, понижается в ряду F > Cl > Br > I [12], поэтому многие фторидные комплексы устойчивы, не гидролизуются и слабо диссоциируют.

В целом, ситуация с фтором в почве полевого опыта и вероятным поступлением его в грунтовые воды и пищевую цепь, даже после более чем 20-летнего периода внесения повышенных доз минеральных удобрений, особых опасений пока не вызывает, хотя и не исключает необходимости систематического контроля за его накоплением.

**Хлор.** Автоморфные почвы земледельческой зоны, по разным источникам [1, 2 и др.], обычно содержат в среднем 10–20 мг/кг водорастворимого хлора (отметим, что валовое его содержание, как правило, немногим выше). Это связано, прежде всего, с хорошей растворимостью солей хлора (исключение составляют лишь хлориды $Ag^+$, $Pb^{2+}$, $Cu^+$ и $Hg^+$). Обладая этим свойством, хлориды активно мигрируют в почвенном профиле, поэтому закономерности его распределения в почве определяются в основном процессами водной миграции.

Содержание этого элемента в исследуемых целинных серых лесных почвах от гумусового горизонта к породе варьирует в пределах 48,3–55,6 мг/кг (см. табл. 2). В автоморфных почвах отсутствуют эффективные геохимические барьеры, на которых возможна аккумуляция хлора, подобных тем, как для фтора существует кальциевый геохимический барьер или для йода – биогеохимический (накопление в верхнем гумусовом горизонте почв). Аккумуляция хлора происходит только на испарительном барьере, свойственном лишь аридным бессточным районам. Периодически промывной тип водного режима серых лесных почв в сумме с хорошей растворимостью солей хлора также благоприятствует миграции его солей.

Содержание водорастворимой формы хлора в почвах естественных экосистем составило 47,0–52,9 мг/кг (см. табл. 2), т.е. лишь немногим меньше валового содержания; распределение по почвенному профилю было аналогичным. Хлорид-анион, в отличие от йодид-ионов, не только слабо поглощается почвами, но и характеризуется отрицательной адсорбцией по отношению к ним [16] и менее подвержен окислению в условиях земной поверхности.

Серая лесная почва агроценоза в вариантах опыта, где хлорсодержащие удобрения никогда не вносили, содержала 11–12 мг/кг водорастворимого хлора. Отметим заметное различие между изучаемыми почвами по содержанию хлора, в отличие от других галогенов. Данное обстоятельство связано, по-видимому, с региональной спецификой и химическим составом почвообразующих пород, а также с различным содержанием хлора в выпадающих атмосферных осадках на различных территориях (среднее содержание в осадках для лесостепи Приобья – 2–3 мг/л [17]).

Результаты наших исследований показали (рис. 3), что длительное ежегодное внесение повышенных доз хлористого калия не привело к накоплению в почве агроценоза токсичных концентраций хлора. Повышение содержания хлора в почве вариантов NPK1 и NPK2, хотя статистически и значимое, не вызвало возникновения опасного для выращиваемых культур уровня этого элемента. Отметим, что картофель в соответствии со своими физиологическими потребностями способен концентрировать хлор до 2 000 мг/кг сухого вещества, т.е. намного больше, чем другие культуры. Следует сказать, что ПДК водорастворимого хлора для почв до настоящего времени не разработаны.

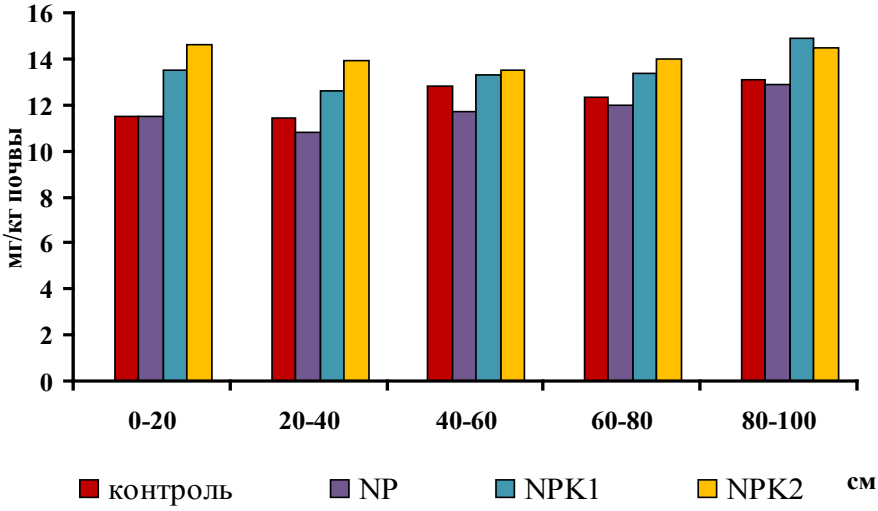



Рис. 3. Содержание водорастворимого хлора в почве агроценоза

Ранее нами было показано [18], что внесенный с удобрениями калий (в случае слабо- или бездефицитного его баланса) аккумулируется практически только в пахотном почвенном слое, а распределение нитратного азота по профилю почвы носит явно выраженный убывающий характер при любом его уровне в верхнем горизонте. В отличие от этих также весьма мобильных ионов, хлор в профиле почвы распределялся по-иному (рис. 3). Его содер-

жание в почвенном профиле любого из вариантов опыта было достаточно равномерным; другими словами, характер распределения галогена в почве был одинаковым независимо от использования или неиспользования хлорсодержащих удобрений. Различия между вариантами были лишь в концентрации хлора: там, где хлористый калий не применялся, в различных почвенных слоях найдено 11–12, а в вариантах с внесением этого удобрения – 13–14 мг/кг водорастворимого хлора.

Выравнивание содержания хлора по почвенному профилю обусловлено, на наш взгляд, двумя причинами. С одной стороны, это отсутствие в почве какого-либо специфического накопительного барьера, с другой – активная миграция хлора по профилю почвы как с нисходящими, так и с восходящими потоками влаги. В составе влаги, испаряемой с поверхности незасоленных почв зоны, содержится около 1,5 мг/л хлора [17]. Следовательно, вынос хлора при испарении, потреблении растениями и миграции за пределы почвенного профиля, наряду с его поступлением из атмосферы и удобрений, формируют галогеохимический баланс элемента в почвах вообще и относительно стабильное распределение по профилю в частности.

**Йод.** Интенсивность аккумуляции и миграции йода в почвах определяется конкретной почвенно-геохимической обстановкой. В ранее опубликованных исследованиях показано, что наиболее важными почвенными свойствами, ответственными за аккумуляцию йода в почвах, являются степень их гумусированности, гранулометрический (содержание илистой фракции) и химический состав [2, 3, 19 и др.]. В почвах, обогащенных аморфными окислами алюминия и железа, обладающих развитой сорбционной поверхностью, происходит накопление элемента (например, в солонцах). В почвах с высоким содержанием окислителей $Fe^{3+}$ и $Mn^{4+}$ (например, в глееподзолистых почвах или подзолах иллювиально-железистых) происходит снижение концентрации галогена, обусловленное окислением йодид-аниона до элементарного йода в результате взаимодействия с железом и марганцем из-за разницы в величине стандартных ОВ потенциалов с последующим его улетучиванием в атмосферу. Наряду с химическим составом почвы двойственную роль по отношению к йоду играют реакция почвенной среды и водный режим. В кислой среде процессы окисления инициируют потери галогена за счет образования свободного йода, а в щелочной среде доминирует образование наиболее устойчивых анионов йода, таких как $I^-$ и $IO_3^-$. Промывной и периодически промывной типы водного режима в почвах усиливают миграцию йода по причине хорошей растворимости большинства его солей.

Исследуемые серые лесные почвы содержат 1,4–3,0 мг/кг валового йода (табл. 3). Подобные концентрации элемента обнаружены и в аналогичных почвах других территорий (2–4 мг/кг) [16]. Незначительное количество гумуса в горизонте $A_1$ – 4% и менее, а также резкое снижение его количества в нижних горизонтах от 0,6 до 0,3%, высокая подвижность гуминовых кислот в условиях периодически промывного режима, кислая среда, преобладаю-

щая в верхних горизонтах почвы, невысокое содержание илистой фракции, снижающее сорбционную способность почвы, – все это благоприятствует процессам выноса галогена из почвы. В соответствии с критериями [20] для валового содержания йода (5,0 – недостаточное содержание, 5,0–40,0 – нормальное и > 40,0 мг/кг – избыточное) данные серые лесные почвы следует считать дефицитными по йоду.

Валовое содержание йода нами изучалось параллельно с водорастворимой формой, изменение концентрации которой в различных типах почв происходит в широком интервале от 0,01 до 0,65 мг/кг. Концентрации водорастворимого йода (0,015–0,08 мг/кг) в серых лесных почвах, так же, как и в других зональных почвах юга Западной Сибири, весьма незначительны. Основных причин тому несколько: низкое валовое содержание элемента, физико-химические свойства почвы и свойства самого галогена. При этом строгой закономерности в распределении элемента по профилю почвы также не обнаружено, что отмечено нами во всех зональных почвах территории [3].

Таблица 3

**Содержание валового и водорастворимого йода в серых лесных почвах естественных экосистем, мг/кг**

| Горизонт | Глубина, см | $Йод_{вал}$ | | $Йод_{водораст}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 1 | 2 |
| А | 0–20 | 2,82 | 3,15 | 0,081 | 0,092 |
| $А_1А_2$ | 25–35 | 1,00 | 1,34 | 0,022 | 0,037 |
| $А_2В$ | 40–50 | 1,56 | 1,95 | 0,008 | 0,010 |
| В | 70–80 | 1,73 | 2,00 | 0,018 | 0,025 |
| ВС | 90–100 | 2,26 | 2,39 | 0,032 | 0,046 |
| $С_к$ | 200–220 | 1,44 | 1,88 | 0,015 | 0,017 |

*Примечание.* 1 – юг Васюганской равнины; 2 – север Барабинской равнины.

По градации, предложенной [21], содержание водорастворимой формы йода в почвах 0,011–0,03 является низким, 0,03–0,05 – пониженным, 0,05–0,1мг/кг – оптимальным. Следовательно, данные серые лесные почвы характеризуются низкими и пониженными запасами водорастворимого йода.

Содержание и распределение водорастворимого йода в почве длительного полевого опыта показаны на рис. 4. Можно отметить некоторое увеличение концентрации подвижной формы галогена вниз по профилю, что, видимо, обусловлено соответствующим утяжелением гранулометрического состава и усилением карбонатности. Известно, что почвообразующая порода является не столько источником поступления йода в почву, сколько барьером, препятствующим вымыванию его легкорастворимых соединений из корнеобитаемого слоя.

Концентрация водорастворимого йода в пахотном слое вариантов NPK заметно снизилась по сравнению с контрольным и фоновым вариантами.

Известно, что йод – важный микроэлемент, необходимый для роста и развития растений, влияющий на азотный режим и водный обмен. В вариантах NPK нашего опыта урожайность культур было намного выше, чем в других вариантах, соответственно вынос элементов, и в частности йода, существенно возрастал. Вынос йода из почв интенсивных агроценозов с отчуждаемой растениеводческой продукцией превышает его поступление извне.

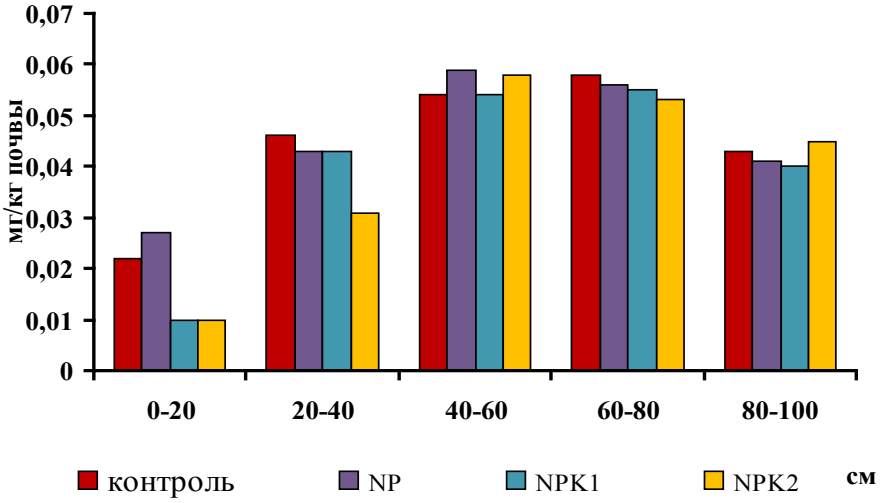



Рис. 4. Содержание водорастворимого йода в почве агроценоза

Следует отметить, что в вариантах полевого опыта с внесением всех удобрений наблюдается незначительная тенденция увеличения содержания валового йода в пахотном слое почвы, что свидетельствует о влиянии различных солей на сорбцию йода [6]. Другими словами, влияние различных солей на сорбцию йода в почве полевого опыта проявилось, но довольно слабо. Концентрация микроэлемента в почве крайне низка, в связи с чем можно предположить, что культуры, выращиваемые в интенсивных агроценозах, будут испытывать дефицит йода.

Количество валового йода в исследуемой почве и его распределение по профилю в различных вариантах нашего опыта практически не отличались. В пахотном слое почвы (0–20 см) содержалось 1,4–1,5 мг/кг валового йода, в подпахотном (20–40 см) – 1,0–1,1. Отметим, что количество гумуса в этих почвенных слоях составляло соответственно 4,9 и 2,4% при одинаковом гранулометрическом составе (31% физической глины). Ниже по профилю почвы содержание валового йода возрастало и составило в слое 40–60 см 1,7–1,8 мг/кг, в слое 60–80 см – 1,6–1,7. Количество гумуса в этих почвенных слоях достигало соответственно 0,9 и 0,4%, а физической глины – 34%. Рассматриваемые слои составляют иллювиальный почвенный горизонт, обогащенный илистой фракцией и полуторными оксидами и являющийся накопительным барьером для

йода. В нижней части профиля (80–100 см) уровень валового йода снизился до 1,2–1,4 мг/кг. В целом полученные результаты демонстрируют отчетливую зависимость между содержанием валового йода в почве, с одной стороны, и ее гумусированностью и гранулометрическим составом – с другой.

## Заключение

Проведенные исследования показали, что содержание валового фтора (230–280 мг/кг) и йода (1,4–3,0) в серых лесных почвах различных районов юга Западной Сибири примерно одинаково и вполне укладывается в интервал значений, характерный для зональных почв этой территории. Аналогичная ситуация складывается и по содержанию водорастворимых форм фтора (около 1 мг/кг) и йода (0,02–0,03). В отличие от этих галогенов содержание хлора в серых лесных почвах различных районов исследуемой территории заметно варьирует: от 10–11 мг/кг в почве Новосибирского Приобья до 40–50 – в почвах Васюганской и Барабинской равнин.

Распределение галогенов по профилю исследуемых почв определяется в основном содержанием гумуса и илистой фракции в различных почвенных горизонтах, а также химическими свойствами конкретного галогена. Относительным постоянством отличается лишь хлор – его распределение по профилю различных почв обычно равномерное независимо от абсолютного содержания в почве этого элемента.

Полученные результаты свидетельствуют, что вовлечение целинной почвы в сельскохозяйственный оборот существенно отразилось на содержании в ней различных галогенов. Длительное внесение минеральных удобрений в почву агроценоза вызвало статистически значимое повышение содержания фтора и хлора; в то же время концентрация водорастворимой формы йода в пахотном слое почв интенсивных агроценозов заметно снизилась. Использование рациональных и сбалансированных доз удобрений не привело к повышению содержания форм галогенов в почве агроценоза до токсичного для растений уровня.

Вносимый с удобрениями фтор концентрировался в пахотном почвенном слое; вниз по профилю почвы агроценоза содержание этого галогена заметно снижалось. Распределение хлора по профилю почвы было равномерным независимо от интенсивности применения хлорсодержащих удобрений. Содержание в почве йода вниз по профилю возрастало.

Таким образом, содержание фтора, хлора и йода в целинных серых лесных почвах юга Западной Сибири не превышает предельно допустимых концентраций и не представляет опасности для экологической обстановки региона. В почвах интенсивных агроценозов содержание галогенов может как возрастать (особенно фтор), так и заметно снижаться (йод), что обусловливает необходимость эколого-агрохимического мониторинга складывающейся ситуации.

## *Литература*

1. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М. : Высш. шк., 2002. 334 с.
2. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
3. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
4. *Ермолов Ю.В.* Фтор в компонентах природных ландшафтов Обь-Иртышского междуречья : дис. … канд. биол. наук. Новосибирск : ИПА СО РАН, 2002. 101 с.
5. *Якименко В.Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
6. *Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.Н.* Микроэлементы в почвах Советского Союза. М. : Изд-во МГУ, 1959. 67 с.
7. *Миллер А.Д., Капитонова Г.А.* Метод определения фтора с ализаринкомплексоном в горных породах и минералах без предварительной отгонки // Методы анализа редкометалльных минералов, руд и горных пород. М., 1971. Вып. 2. С. 80–89.
8. *Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н.* Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств йода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
9. *Соколова Т.А.* Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. Новосибирск : Наука, 1985. 250 с.
10. *Гапонюк Э.И., Кузнецова М.В.* Влияние фтористого натрия на свойства почвы и развитие некоторых сельскохозяйственных культур // Гигиена и санитария. 1984. № 6. С. 77–79.
11. *Санитарные* нормы допустимых концентраций токсичных веществ. СанПиН 42-126-4433-87 // Методы определения загрязняющих веществ в почве. М., 1988. 72 с.
12. *Чанг Р.* Физическая химия с приложениями к биологическим системам. М. : Мир, 1980. 662 с.
13. *Сараев В.Г.* Техногенное рассеяние фтора в почвах Катэка // География и природные ресурсы. 1986. № 4. С. 142–146.
14. *Минеев В.Г., Грачева М.К., Ефремов В.Ф. и др.* Фтор в почвах и корнеплодах кормовой свеклы // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 2. С. 45–47.
15. *Танделов Ю.П.* Фтор в системе почва – растение. М. : Изд-во МГУ, 2004. 106 с.
16. *Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. М. : Наука, 1985. 261 с.
17. *Казанцев В.А.* Проблемы педогалогенеза. Новосибирск : Наука, 1998. 280 с.
18. *Якименко В.Н.* Изменение содержания форм минерального азота и калия в профиле почвы агроценоза // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 328. С. 202–207.
19. *Кашин В.К.* Биогеохимия, фитофизиология и агрохимия йода. Л. : Наука, 1987. 261 с.
20. *Ковальский В.В.* Биологическая роль йода // Биологическая роль йода. Научные труды ВАСХНИЛ. М. : Колос, 1972. С. 3–32.
21. *Покатилов Ю.Г.* Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск : Наука. Сиб. изд. фирма, 1993. 65 с.

*Поступила в редакцию 12.09.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 21–35***
doi: 10.17223/19988591/20/2

**Galina A. Konarbaeva, Vladimir N. Yakimenko**

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

## CONTENT AND DISTRIBUTION OF HALOGENS IN SOIL PROFILE OF NATURAL AND MAN-MADE ECOSISTEMS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

*The study showed that grey wooded soils in various areas in the south of West Siberia contained approximately similar amounts of total and water-extractable fluoride (230–280 and 1 mg/kg soil)and iodine (1.4–3.0 and 0.2–0.3mg/kg soil, respectively), falling within the range typical for the zonal soils of the territory. The chloride concentration was found to vary notably, from 10–11mg/kg in the Novosibirsk Near-Ob area, up to 40–50 mg/kg in soils of the Vasyugan and Barabinsk plains. The profile distribution of the halogens was mainly determined by humus and silt content in different soil horizons, as well as by the chemical properties of the elements. Chloride was found to display a relatively even profile distribution, independent of its absolute content.*

*Content of halogens and regularities of their distribution were determined in the profile of virgin and arable grey forest soils of the south of Western Siberia. It was revealed that concentration of halogens in the soils in question was at the level typical for zonal soils of the region and did not exceed the maximum admissible concentration. It was shown that long-term application of fertilizers in agrocenoses lead to essential increase in content of soil of fluorine and chlorine; at the same time, distribution of chlorine in soil profile decreased with the depth, its maximum was in the upper horizon; as for chlorine, its distribution was uniform. The content of water-soluble iodine decreased greatly in the arable layer of soils of intensive agrocenoses but its total content did not change.*

*The obtained results show that agricultural use of the previously undisturbed soils significantly affected their halogens' content. The long-term fertilization of agricultural soils resulted in statistically significant increase in fluoride and chloride concentrations; at the same time the concentration of water-extractable iodine in the ploughed layer of intensively used agrocoenoses decreased significantly. Reasonably balanced fertilization rates did not increase halogens' concentrations up to levels toxic for plants. Fluoride, added into soil with fertilizers, accumulated mostly in the topsoil layer, decreasing significantly down the soil profile. Chloride distribution along the soil profile, being rather even, did not depend on the rate of chloride input with fertilizers.*

*Key words: soil; content of halogens; fluorine; chlorine; iodine; fertilizers; agrocenoses.*

*Received September 12, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 36–46*

УДК 631.41
doi: 10.17223/19988591/20/3

**О.А. Некрасова, А.П. Учаев**

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)*

# ГУМУС ПОГРЕБЕННЫХ ГУМУСОВЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ РАЗНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0064).

*В сравнительном плане изучались почвы с погребенными гумусовыми горизонтами, формирующиеся в различных биоклиматических условиях. Сравнивались разные формы почвенной кислотности, значения магнитной восприимчивости, содержание углерода, групповой и фракционный состав гумуса и спектральные характеристики гуминовых кислот. Выявлены черты сходства и различий погребенных гумусовых горизонтов, а также дается характеристика реконструированных биоклиматических условий периода их активного функционирования. Полученные материалы по морфологическим, физико-химическим свойствам, а также составу гумуса, свойствам гуминовых кислот современных и погребенных почв могут быть использованы для прогноза поведения природной среды при глобальных и региональных изменениях климата, а также при решении научных проблем почвоведения и экологии, связанных с эволюцией ландшафтов и прогнозов их поведения при изменении природной обстановки.*

**Ключевые слова:** *органическое вещество; гумус; гуминовые кислоты; погребенные горизонты; характеристики палеоприродной среды.*

## Введение

Прогноз изменения климата представляет собой одну из важнейших проблем современного общества. Построение прогнозных моделей всегда основывается на данных о развитии процесса (явления) в прошлом и его современном состоянии. Следовательно, обоснованность перспективных изменений климата невозможна без ретроспективного анализа, т.е. проведения палеоклиматических реконструкций для разных временных отрезков на различных территориях. Для этого изучаются разные компоненты природы, сохраняющие информацию о времени своего формирования, к которым относятся прежде всего почвы, являющиеся памятью экосистем и ландшафтов [1].

Почвы и отдельные почвенные компоненты в своих составе и свойствах отражают особенности условий формирования и в течение длительного времени хранят об этом информацию. Почва, являясь памятью ландшафта, записывает информацию о смене условий в течение всего периода формирования в своем профиле и свойствах отдельных компонентов, часть которой сохраняется во времени.

Среди почвенных компонентов, формирующих память почв, выделяется гумус, или система гумусовых веществ. Состав, структура и свойства компонентов этой системы и их соотношение обусловлены сочетанием тепла и влаги независимо от времени их формирования. Знание специфики разных характеристик гумуса в погребенных почвах позволяет воссоздавать климатические (биоклиматические) и ландшафтные обстановки прошлого [2].

## Материалы и методики исследования

Исследования производились в Тюменской области, в 100 км от г. Тобольска вниз по течению р. Иртыш в Западной Сибири (первый ключевой участок) и в Свердловской области на Среднем Урале в районе слияния рек Сысерть и Исеть (второй ключевой участок).

Сравнение климатических условий формирования почв показало, что среднегодовая температура воздуха на первом ключевом участке составляет 0°С, среднесуточная температура самого холодного месяца достигает –21,7°С, самого жаркого месяца +22,3°С. Среднегодовая сумма выпадающих осадков достигает 470–480 мм/год, из них большая часть приходится на теплый период. Число дней с осадками составляет 160–170, продолжительность периода с устойчивым снежным покровом – 165 дней, среднемноголетняя глубина промерзания почвы – 106 см, наибольшая – 165 см.

На втором ключевом участке по данным близлежащих метеостанций средняя температура июля составляет +17,2°С, января – минус 16,2°С, среднегодовая температура 0,8°С, сумма температур выше +10°С – 1754°. Осадки (500–510 мм в год) на территорию района поступают преимущественно с атлантическими воздушными массами. Гидротермический коэффициент изменяется в пределах от 1,4 до 1,6 [3].

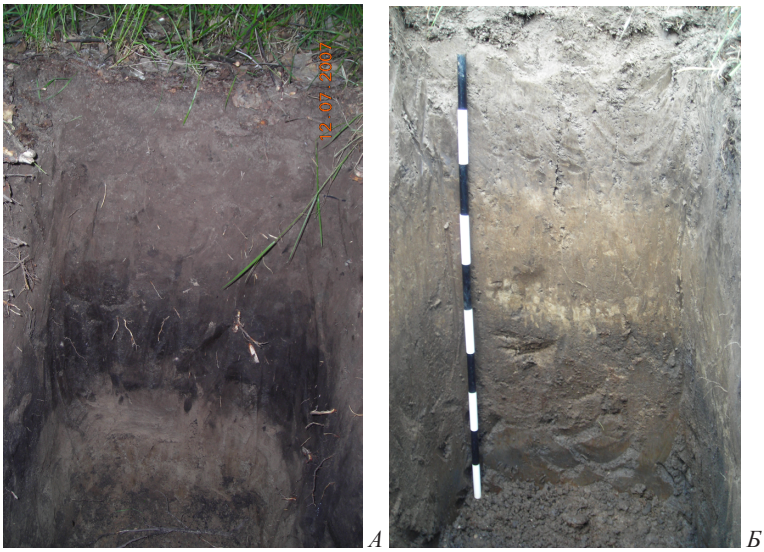
Таким образом, формирование почв в Тобольском районе происходит в более континентальных условиях и находится под воздействием меньшего количества осадков. Объектами исследования являлись в Западной Сибири погребенные гумусовые горизонты, расположенные в суглинистых лёссовидных отложениях на плоской верхней части 30-метрового коренного берега под березовым лесом (разрез 7–07), на Среднем Урале – в пойменных отложениях р. Сысерть под луговым сообществом (разрез 20–010).

Образцы почв отбирались на каждом участке из разреза и прикопок подробно, послойно, каждые 5–10 см в пределах видимых горизонтов (для погребенных гумусовых горизонтов – в 2–3 повторностях) и подготавливались к анализу по стандартной методике. Значения магнитной восприимчивости определялись на каппометре Kappabrig KLY-2 (Чехия, Brno Geofyzica), pH водной и солевой вытяжки измерялись pH-метром «АНИОН 4100» (Россия, ООО НПП «Инфраспак-Аналит»), общий углерод определялся по Тюрину, групповой и фракционный состав гумуса – методом Пономаревой–Плотниковой [4]. Оптические плотности гуминовых кислот снимались на спектрофотометре UV-1650 (Япония, Shimadzu). Статистическая обработка по-

лученных данных проводилась с помощью программы StatSoft STATISTICA 6.0. Графики построены в программе Excel 2003, гумусовые профили – в программе Origin 7.5. Результаты исследования представлены в виде средней арифметической со стандартным отклонением.

## Результаты исследования и обсуждение

Морфологические характеристики (рис. 1) почвы под березовым лесом (разрез 7–07) показывают наличие в профиле почвы на глубине 30–60 см второго погребенного реликтового легкосуглинистого горизонта, с относительно сохранившейся структурой, не вскипающего от HCl, имеющего языковатую нижнюю границу.




*А* *Б*

Рис. 1. Почвенный профиль разреза 7–07 (А) и разреза 20–010 (Б)

| | | |
|---|---|---|
| $A_0$ | 0–2 см | Опад листьев, сухая трава, веточки деревьев. |
| $A_0A_{пах.}$ | 2–4 см | Буро-серый, структура пылеватая, рыхлая, переход ясный по содержанию корней, плотности и окраске, граница ровная. |
| $A_{пах.}$ | 4–33 см | Буро-серый, пластинчато-мелкокомковато-пылеватый легкий суглинок, включения корней диаметром 5 мм, переход заметный по плотности, с глубины 12 см становится более плотным. На глубине 23–33 см много гумусовых пятен диаметром 10 мм, переход резкий по окраске, граница неровная. |
| [A] | 33–54(60) см | Темно-серый со светло-серыми пятнами средне-мелкокомковатый легкий суглинок, включения корней от 1 до 7 мм, переход резкий по окраске, граница языковатая. |
| [B] | 54–61 см | Горизонт из гумусовых языков (темно-серых) и заклинов (буро-серых), структура пластинчатая, легкий суглинок, корни отсутствуют, граница по гумусовым языкам. |
| [BC] | 61–80 см | Буро-серый мелкокомковатый легкий суглинок. |

В целом морфологическое описание позволяет отметить следующие черты разных горизонтов этой почвы. Верхняя толща (33 см), вероятно, представляет собой некогда пахавшуюся часть почвы, заросшую впоследствии березовым лесом около 60 лет назад. Морфологических признаков элювиального процесса, характерного для лесных почв Западной Сибири, не обнаружено. Нижняя толща представляет собой погребенную почву, формировавшуюся в биоклиматических условиях, отличающихся от современных. Об этом свидетельствует наличие мощного гумусового горизонта с четко выраженными гумусовыми затеками. Наличие в нижней части современного гумусового горизонта (глубина 23–33 см) многочисленных более темных пятен может быть связано с припахиванием погребенного гумусового горизонта и частичным его перемешиванием с пахотной толщей. Таким образом, почва под березовым лесом имеет полигенетичное строение: нижняя толща представляет собой древнюю частично распаханную почву, предположительно среднеголоценового возраста, верхняя часть – бывшая пахотная почва, заросшая лесом.

В отличие от нее пойменная почва (разрез 20–010) имеет следующее морфологическое строение (см. рис. 1, *Б*):

| | | |
|---|---|---|
| $А_д$ | 0–6(9) см | Серый, рыхлый, с включениями мелких корней мелкоореховатый легкий суглинок, переход по плотности и количеству корней ясный, граница волнистая. |
| А | 6(9)–24 см | Серый, более плотный, с большим количеством мелких корней, мелкокомковато-плитчатый легкий суглинок, переход по окраске ясный, граница ровная. |
| [А]′ | 24–35 см | Темно-серый, влажный, плотный, с редкими корнями, пылевато-мелкокомковатый средний суглинок, переход по окраске и плотности резкий, граница волнистая. |
| [В]′ | 35–49 см | Серо-бурый, влажный, с очень редкими корнями, структура плитчато-пылеватая, средний суглинок, переход по окраске и плотности ясный, граница ровная. |
| [А]″ | 49–57(60) см | Буро-серый, плитчато-мелкокомковатый средний суглинок, переход по окраске и плотности ясный, граница карманная. |
| [В]″ | 57(60)–65(67) см | Палевая, бесструктурная, с буро-серыми пятнами (30%), супесь, переход по окраске и плотности ясный, граница волнистая. |
| $[А]_g$ | 65(67)–110 см | Сизо-серый, при подсыхании переходит в буро-темно-серый, влажный, мелкокомковато-плитчатый, средний суглинок. |

Описанная почва имеет полигенетичное строение, проявляющееся в наличии трех погребенных гумусовых горизонтов, самым мощным из которых является горизонт $[А]_g$ (65–110 см). Именно этот горизонт был изучен наиболее подробно. Почвенный покров речных пойм имеет сложное, порой мозаичное строение в связи с постоянным меандрированием речного русла и миграцией различных частей поймы. Отсюда широкое распространение по-

лициклических, погребенных почв [5]. Известно, что современным биоклиматическим условиям соответствует верхний почвенный слой мощностью 20–25 см [6]. Нижняя граница современного гумусового горизонта вскрытой почвы лежит в этих пределах и, как можно полагать, отражает в своих признаках и свойствах современные факторы почвообразования. Мощность самого нижнего погребенного гумусового горизонта составляет 43–45 см, что почти в 2 раза превышает таковую современного гумусового горизонта. Его окраска имеет сизый оттенок, свидетельствующий об оглеении. В сухом виде он имеет окраску темнее, чем горизонт А, гранулометрический состав более тяжелый по сравнению с современным гумусовым горизонтом [7]. Таким образом, горизонт $[A]_g$, отражающий наиболее длительный и интенсивный процесс гумусообразования в прошлом, предположительно, мог сформироваться в период оптимума голоцена с иным сочетанием факторов почвообразования, запечатленным в его толще.

Сравниваемые погребенные гумусовые горизонты, формирующиеся в почве Тобольского Прииртышья и поймы р. Сысерть, различаются областью значений pH (таблица) водной суспензии: кислая – в лесной почве и нейтральная – в пойменной, в то же время значения pH солевой суспензии составляют в них соответственно 4,7 и 4,9–5,0.

**Значение pH водной и солевой суспензии погребенных гумусовых горизонтов Тобольского Прииртышья и поймы р. Сысерть**

| Горизонт | Глубина, см | $pH_{H2O}$ | $pH_{KCl}$ |
|---|---|---|---|
| Лесная почва | | | |
| [A] | 33–41 | 4,9 | 4,7 |
| [A] | 41–54 | 5,2 | 4,7 |
| Пойменная почва | | | |
| $[A]_g$ | 65–75 | 6,5 | 5,0 |
| $[A]_g$ | 75–85 | 6,5 | 4,9 |
| $[A]_g$ | 85–95 | 6,5 | 4,9 |
| $[A]_g$ | 95–110 | 6,5 | 5,0 |

В распределении общего органического углерода в почве под березовым лесом (рис. 2) имеется два максимума. Первый из них приурочен к пахотному горизонту и достигает 2,80% от почвенной массы, следующий – ко второму гумусовому горизонту и имеет близкое к предыдущему содержание органического углерода. В настоящее время установлено, что при исключении почвы из активного биологического круговорота содержание гумуса в ней падает, следовательно, в период своего функционирования древняя почва была более гумусирована, чем современная.

В распределении общего углерода в пойменной почве имеется несколько максимумов, все они приурочены к погребенным гумусовым горизонтам. Количество общего органического углерода в погребенном глеевом горизон-

те более чем в 2 раза ниже, чем в современном гумусовом горизонте, хотя его величина достигает 1,5%, и, как было сказано ранее, можно предполагать более высокое содержание гумуса в нем до погребения.

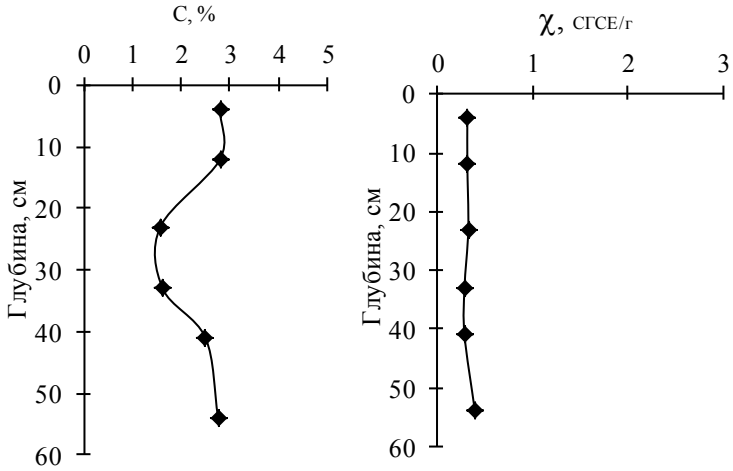



Рис. 2. Содержание общего органического углерода
и значения магнитной восприимчивости в почве березового леса

Магнитная восприимчивость сравниваемых разрезов лежит в разных областях, корреляция с содержанием гумуса обнаруживается только в верхней части пойменной почвы (рис. 2, 3). Следовательно, различия магнитной восприимчивости связаны с почвообразующей породой: для почвы под березовым лесом это лёссовые, для поймы – аллювиальные отложения.

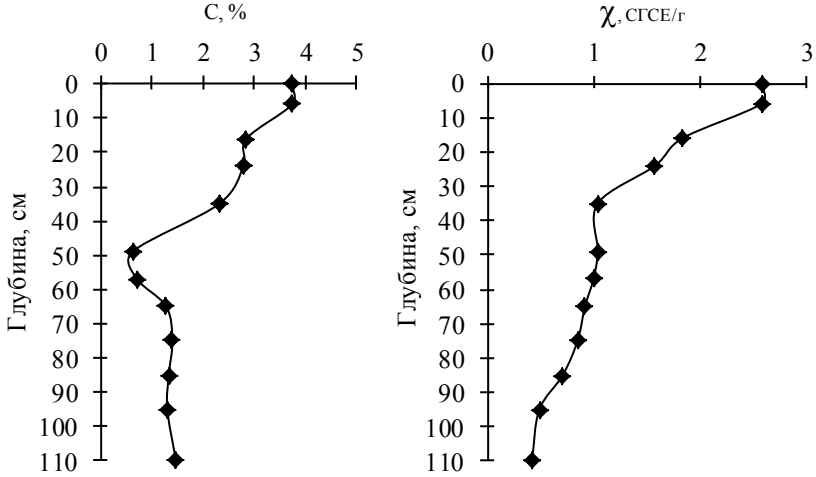



Рис. 3. Содержание общего органического углерода
и значения магнитной восприимчивости в пойменной почве

В гумусовом профиле лесной почвы (рис. 4) по суммарному содержанию фульвокислот (ФК) и негидролизуемого остатка выделяются два этапа формирования. По суммарному содержанию гуминовых кислот (ГК) и отношению $С_{гк}/С_{фк}$ выявляется дополнительная зона, возможно обусловленная припахиванием погребенного гумусового горизонта и частичным включением его почвенной массы в современную пахотную, что подтверждается наличием в ней гумусовых пятен в морфологическом строении. Высокое содержание свободных и связанных с подвижными полуторными окислами ГК в погребенном гумусовом горизонте выявляет интенсивное протекание в нем гумусообразования, чему способствует обилие современных корней растений. Сравнение среднего содержания суммы гуминовых кислот в пахотном и погребенном горизонтах выявило более низкие значения данного показателя в первом (29,87 ± 9,11%) по сравнению со вторым (56,85 ± 12,42%).

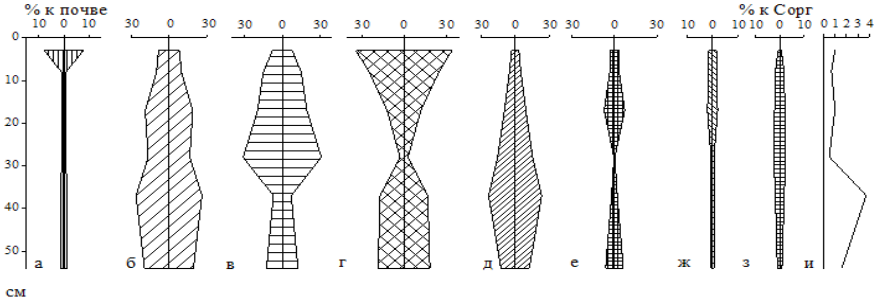



Рис. 4. Гумусовый профиль лесной почвы. Обозначения: *а* – общий углерод, % к почве, % к $С_{общ}$; *б* – гуминовые кислоты; *в* – фульвокислоты; *г* – негидролизуемый остаток (гумин); *д* – ГК1; *е* – ГК2; *ж* – ГК3; *з* – ФК1а; *и* – Сгк/Сфк

Полученные результаты могут свидетельствовать о более теплом, по сравнению с современными условиями, климате периода активного функционирования погребенного гумусового горизонта. Сумма фульвокислот имеет более высокие значения в современном пахотном горизонте (43,53 ± 16,45%), по сравнению с погребенным горизонтом (23,42 ± 5,47%), что может быть следствием более сухих условий формирования древнего гумусового горизонта, по сравнению с современными.

Реконструкция более теплых и сухих условий в период формирования древнего горизонта совпадает с палеогеографическими данными исследований на территории Западной Сибири, показавшими, что после оледенения, в оптимуме голоцена, был период с относительно более теплым и сухим климатом, чем в настоящее время [8].

Во всех почвенных горизонтах дерново-аллювиальной почвы (рис. 5) ГК преобладают над ФК. Отмечается несколько максимумов отношения $С_{гк}/С_{фк}$, приуроченных к погребенным гумусовым горизонтам. Среди ГК в изучаемой почве преобладает фракция, связанная с кальцием. Максимумы накопления

ГК этой фракции также совпадают с погребенными гумусовыми горизонтами. Таким образом, в пойменной почве фиксируются горизонты с разным уровнем накопления групп и фракций гумуса, соотношением $C_{гк}/C_{фк}$, что отражается в морфологическом строении почвенного профиля. Сопоставление среднего содержания суммы гуминовых кислот в современных горизонтах $A_д$ и А и погребенном глеевом горизонте выявило относительно более низкие значения данного показателя в современной гумусовой толще (33,62 ± 6,50%) по сравнению с погребенной (38,76 ± 5,11%). Полученные результаты могут свидетельствовать о более теплом климате периода активного функционирования самого древнего погребенного гумусового горизонта.

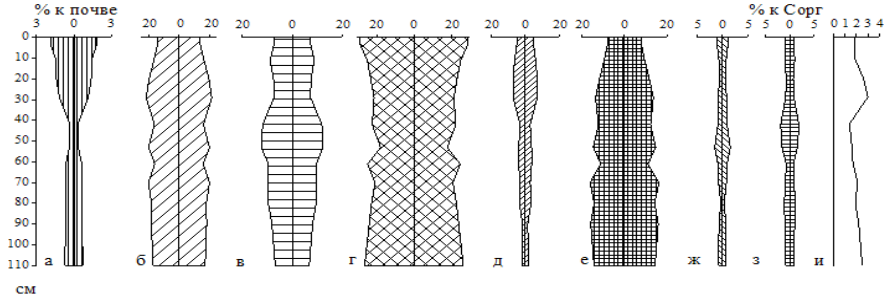



Рис. 5. Гумусовый профиль дерново-аллювиальной почвы. Обозначения см. на рис. 4

Сумма фульвокислот имеет более низкие величины в современной гумусовой толще (15,90 ± 2,40%), по сравнению с погребенной (17,80 ± 2,36%), что отражает несколько более влажные условия периода формирования древнего погребенного гумусового горизонта, по сравнению с современными.

Таким образом, можно предположить наличие более теплых и, по сравнению с современными, более влажных условий в период формирования нижнего погребенного горизонта.

Палеоландшафтная обстановка, реконструированная методами палинологии для территории Южного Зауралья (наиболее приближенной к району исследования на Среднем Урале), для атлантического периода была достаточно изменчивой, установлено несколько этапов аридизации климата [9].

Проведенная статистическая обработка по критерию Манна–Уитни показала различия в сумме гуминовых кислот и фульвокислот (в первом случае достоверные) в погребенных горизонтах предположительно среднеголоценового возраста в почвах разных условий формирования. Следовательно, условия в Тобольском Прииртышье в период функционирования этого горизонта были более теплыми и влажными, чем в пойме р. Сысерть.

В современном гумусовом горизонте почвы Тобольского Прииртышья коэффициенты цветности суммы черных и бурых ГК составляют 3,71 ± 0,11, в погребенном горизонте – 3,55 ± 0,09, что отражает большее развитие периферической части макромолекул ГК в первом.

Значения коэффициентов цветности гуминовых кислот погребенного гумусового горизонта пойменной почвы (3,08 ± 0,18) ниже, чем в современном гумусовом горизонте (3,30 ± 0,14), что соответствует лучшему развитию ядерной части гуминовых кислот в первом случае.

Таким образом, гуминовые кислоты сравниваемых погребенных гумусовых горизонтов отличаются по своим спектральным характеристикам от таковых, формирующихся в современных условиях, меньшими значениями коэффициентов цветности, что означает, что биоклиматические условия в прошлом являлись наиболее оптимальными для формирования зрелых, с развитой ароматической частью макромолекул на изучаемых участках в Западной Сибири и на Среднем Урале.

## Заключение

Наличие в обеих почвах мощного погребенного гумусового горизонта с иными характеристиками гумуса, чем современного, говорит о прохождении ими в прошлом относительно длительной стадии гумификации, характерной для травянистых сообществ. Сравнение значимых для палеореконструкции климата показателей гумуса погребенных почв Тюменской и Свердловской области позволяет выявить локальные особенности природной среды этих территорий в атлантическом периоде. В Западной Сибири этот период был значительно теплее и характеризовался большей увлажненностью, чем на Среднем Урале.

## *Литература*

1. *Память* почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
2. *Дергачева М.И.* Археологическое почвоведение. Новосибирск : СО РАН, 1997. 228 с.
3. *Краткая* агроклиматическая характеристика Свердловской области. Екатеринбург, 1993. Ч. 1 (фонды Ин-та «Урал НИИгипрозем»). 250 с.
4. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л. : Наука, 1975. 106 с.
5. *Александровский А.Л., Александровская Е.И.* Эволюция почв и географическая среда. М. : Наука, 2005. 223 с.
6. *Kohnke H., Stuff R.G., Miller P.A.* Quantitative relations between climat and soil formation // Z. Pflanzenernahr. Und Bodenkunde. 1968. Vol. 119, № 1. S. 24–33.
7. *Учаев А.П., Некрасова О.А.* Пойменная почва как летопись современных и былых условий почвообразования (на примере дерново-аллювиальной почвы реки Сысерть) // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Нижний Тагил, 2012. С. 226–229.
8. *Ларин С.И.* Физико-географические условия формирования качества поверхностных вод Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 12. С. 70–77.
9. *Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А.* Основные геолого-палеоэкологические события конца позднего плейстоцена и голоцена на восточном склоне Южного Урала // Природные системы Южного Урала. Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. С. 66–103.

*Поступила в редакцию 15.09.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 36–46***
doi: 10.17223/19988591/20/3

**Olga A. Nekrasova, Anton P. Uchaev**

*Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia*

## BURIED HORIZON'S HUMUS OF SOILS FORMING IN DIFFERENT CONDITIONS

*Soils with buried humus horizons, formed in different bioclimatic conditions, were studied. Research activity in Western Siberia was carried out in Tyumen region, Tobolsk area, on a flat top part of the 30 m radical river bank. The flood plain's soil of the Sysert river was studied in the Middle Urals in Sverdlovsk region near its merge to the Iset. The object of the research in West Siberia is the soil under the birch wood, containing the buried humus horizon, in the Middle Urals – the soil of the central part of a flood plain with several buried humus horizons. Formation of soils in Tobolsk area occurs in more continental conditions and is under the influence of a smaller amount of precipitation than in Sverdlovsk region. Samples of soils were selected on each site from a cut and holes, 5–10 cm each, within visible horizons, for the buried humus horizons – in 2–3 replications and were prepared for the analysis by a standard technique. Values of a magnetic susceptibility were defined on Kappabrig KLY-2, pH in water and salt extract were measured by pH-meter «ANION 4100», the general carbon was determined by Tyurin, group and fractional structure of humus – by Ponomareva-Plotnikova's method. Optical density of humic acids was measured by Spectrophotometer UV-1650.*

*Studying the morphological structure of soil profiles revealed that the soil under the birch wood has a difficult structure: the bottom thickness represents the ancient partially plowed soil, the top part – the former arable soil which has grown with the wood. The river flood plain's soil also has a poligenetic structure which is available of three buried humus horizons the most powerful of which is the horizon [Ag], reflecting the longest and intensive process of humus formation in the past and, presumably, created in holozen's optimum with anoher combination of factors of the soil formation embodied in its thickness.*

*Comparison of the average maintenance of the sum of humic acids in the arable and buried horizons of the soil of West Siberia revealed much lower values of this indicator in the first horizon (29.87±9,11%) in comparison with the second (56.85±12.42%) that can indicate a warmer, in comparison with modern conditions, climate of the period of the buried humus horizon active functioning. The sum of fulvic acids has much higher values in the arable horizon (43.53±16.45%) in comparison with the buried horizon (23.42±5.47%) that can be a consequence of drier, in comparison with modern ones, conditions of the ancient humus horizon formation.*

*Comparing average sum of humic acids in the modern humus horizons and the buried gley horizon in the Middle Ural's soil revealed lower values of this indicator in modern humus thickness (33.62±6.50%) in comparison with buried one (38.76±5.11%). The received results can testify a warmer climate of the active functioning period of the most ancient buried humus horizon. The fulvic acid's sum showed lower values in modern humus thickness (15.90±2.40%) in comparison with buried one (17.80±2.36) that reflects more damp conditions of the period of formation of the ancient buried humus horizon in comparison with the modern one.*

*Humic acids of the compared buried humus horizons differ in their spectral characteristics from those formed in modern conditions, by smaller values of*

*chromaticity factors which means that bioclimatic conditions in the past were more optimum for forming mature macromolecules with a developed aromatic part on the studied sites in West Siberia and the Middle Urals.*

*Thus, the existence of the powerful buried humus horizon in both soils with other humus characteristics indicates their passing a rather long stage of a humification in the past, characteristic of grassy communities. Comparing humus indicators of buried soils of Tyumen and Sverdlovsk regions, significant for climatic paleoreconstructions, allows to reveal local environment features of these territories in the Atlantic period. In West Siberia this period was much warmer and was characterized by a greater moisture content than in the Middle Urals.*

**Key words:** *organic matter; humus; humic acids; buried horizons; climatic paleoreconstructions; characteristics of the paleoenvironment conditions.*

*Received September 15, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 47–54*

# БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 577.577.151.5
doi: 10.17223/19988591/20/4

**М.А. Брацихина, С.А. Рябцева**

*Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)*

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОВ НА ПРОТЕОЛИТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ *Lactococcus lactis*

*Исследовано влияние пребиотика лактулозы, лактозы и глюкозы на протеолитическую активность двух генетически модифицированных штаммов Lactococcus lactis pNZ45subC и pNZ48CE. Установлено, что наивысшая протеолитическая активность обоих штаммов наблюдается в присутствии глюкозы. Внесение лактозы и лактулозы, вероятно, блокирует действие низина, индуцирующего синтез протеазы штаммами L. lactis pNZ45subC и pNZ48CE, в связи с чем отмечено значительное снижение протеолитической активности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование лактозы и лактулозы при производстве кисломолочных продуктов не будет активизировать протеолитическую активность исследуемых штаммов, а следовательно, способствовать возникновению пороков. Установлена возможность использования для индукции L. lactis разведенного в $10^4$ раз супернатанта, полученного из низинпродуцирующего штамма L. lactis NZ9700.*

**Ключевые слова:** *протеолитическая активность; молочнокислые микроорганизмы; Lactococcus lactis; низин.*

### Введение

*Lactococcus lactis* относится к грамположительным молочнокислым бактериям и широко используется в молочной промышленности, в частности при производстве кисломолочных продуктов, кислосливочного масла и сыров. Кроме того, *L. lactis* активно используется в различных направлениях биотехнологии [1–4]. На сегодняшний день много работ посвящено исследованию физиологических и генетических свойств *L. lactis* и полностью расшифрована последовательность геномов некоторых штаммов [5–7]. Одной из важнейших характеристик молочнокислых микроорганизмов является их протеолитическая активность. Повышенная способность микрофлоры заквасок разлагать белки используется в сыроделии, однако при производстве кисломолочных продуктов это свойство может привести к возникновению пороков.

В исследованиях, проведенных ранее, было установлено, что некоторые углеводы, в частности пребиотик лактулоза, могут оказывать влияние на

такие свойства молочнокислых микроорганизмов, как: кислотообразующая способность и выживаемость [8, 9]. Однако зависимость протеолитической активности лактококков от присутствия в среде культивирования углеводов изучена недостаточно. В связи с этим целью данной работы стало исследование влияния лактулозы, лактозы и глюкозы на протеолитическую активность двух штаммов *L. lactis*.

## Материалы и методики исследования

Работа выполнена в рамках программы Erasmus Mundus Action 2 (01.02.2011–30.06.2012) на кафедре биотехнологии Вроцлавского университета (Польша); консультантом выступал д-р техн. наук, проф. Марчин Лукашевич.

Объектами исследований являлись два генетически модифицированных штамма *L. lactis*: pNZ45subC и pNZ48CE, взятые из коллекции микроорганизмов Университета во Вроцлаве. Оба штамма содержат ген *subC*, полученный из *Bacillus licheniformis* и отвечающий за продукцию протеазы. Отличительной особенностью штамма *L. lactis* pNZ48CE является способность к синтезу двух протеаз. Поскольку синтез протеазы данными микроорганизмами возможен лишь в результате индукции низином, то в работе был использован также низинпродуцирующий штамм *L. lactis* NZ9700.

Исследования проводились с использованием системы NICE (nisin-controled gene expression) [10]. Система основана на механизмах регуляции оперона nisinA в штаммах *L. lactis*. Низин индуцирует последовательность процессов, которая начинается с присоединения к мембраносвязанному рецептору NisK. Затем фосфатная группа от активированного NisK переходит к внутриклеточному ответному регулятору NisR, активируя этот регулятор. Далее NisR индуцирует низин-оперон в промоторе nisA. Промотор nisA контролирует экспрессию генов, участвующих в биосинтезе низина (или интересующего гена).

На первом этапе исследований проводилась активация штаммов *L. lactis* путем инкубирования при температуре 30°С в течение 20 ч в среде М17 [11], содержащей 0,5% глюкозы и 5 мг/мл антибиотика хлорамфеникола. Рост культур определяли по изменению оптической плотности при длине волны 600 нм (Thermo Electron Corporation Evolution 600 UV-Visible Spectrophotometer, США).

На следующем этапе для приготовления опытных образцов в среду, предназначенную для культивирования *L. lactis*, добавляли обезжиренное молоко в количестве 10% от объема образца и углеводы: глюкозу, лактозу или лактулозу в концентрации 1, 3 и 5%. Далее в среду вносили активированную культуру с концентрацией клеток, соответствующей оптической плотности 0,1. Индукция штаммов *L. lactis* проводилась при этом же значении оптической плотности путем добавления низина или супернатанта, полученного из

штамма *L. lactis* NZ9700, разведенного в $10^4$ раз. Культивирование микроорганизмов проходило в течение 20 ч при 30°С.

После инкубирования проводили определение протеолитической активности опытных образцов. Для определения протеолитической активности использовался метод с применением в качестве субстрата 0,5% раствор казеина, приготовленного в 50 мМ Tris-HCl буфере, pH раствора поддерживали на уровне 10. Метод основан на определении скорости ферментативной реакции гидролиза субстрата под действием исследуемых протеолитических ферментов, содержащихся в материале, взятом на анализ. Скорость реакции определяли по количеству образовавшихся аминокислот – тирозина и триптофана.

Для измерения протеолитической активности к 500 мкл субстрата добавляли 100 мкл супернатанта, полученного в результате центрифугирования опытных образцов в течение 10 мин при температуре 4°С и скорости 13 000 об./мин (5415R centrifuge, Eppendorf, Германия). Приготовленные образцы инкубировали при 50°С (термостат Bio TDB-100, BioSan, Латвия) в течение 30 мин. Остановку реакции осуществляли путем добавления 500 мкл 10%-ного раствора трихлоруксусной кислоты. Далее проводили повторное центрифугирование образцов и измерение оптической плотности супернатанта при длине волны 275 нм. Все исследования проведены в 4–5-кратной повторности. Полученные результаты были обработаны с помощью программы MS Excel и представлены на рисунках в виде среднеарифметических значений с указанием стандартных отклонений измеряемых показателей. Для всех измерений величина стандартного отклонения не превышала 5%.

## Результаты исследования и обсуждение

Синтез протеазы указанными штаммами *L. lactis* возможен лишь под действием низина, однако низин является довольно дорогостоящим веществом. В связи с этим на первом этапе исследований представляло интерес проведение сравнения протеолитической активности *L. lactis*, индуцированных низином либо супернатантом, полученным из штамма *L. lactis* NZ9700. В исследованиях, проведенных нами ранее, отмечено, что наивысшие показатели протеолитической активности наблюдаются при культивировании штаммов *L. lactis* в среде, содержащей 10% обезжиренного молока. В связи с этим культивирование и индукцию штаммов *L. lactis* pNZ45subC и *L. lactis* pNZ48CE проводили в среде М-17, содержащей 0,5% глюкозы и 10% обезжиренного молока. Результаты измерения протеолитической активности штамма *L. lactis* pNZ45subC, индуцированного низином и супернатантом, представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Полученные результаты (рис. 1) показывают, что наибольшая протеолитическая активность была отмечена в образцах, содержащих 0,5–10 нг/мл низина, в образцах, не содержащих низин, уровень протеолитической активности был близок к 0.

На рис. 2 видно, что наивысший уровень протеолитической активности отмечен в образцах, индуцированных супернатантом, разведенным в $10^4$ раз. Аналогичные результаты были получены при использовании штамма *L. lactis* pNZ48CE.

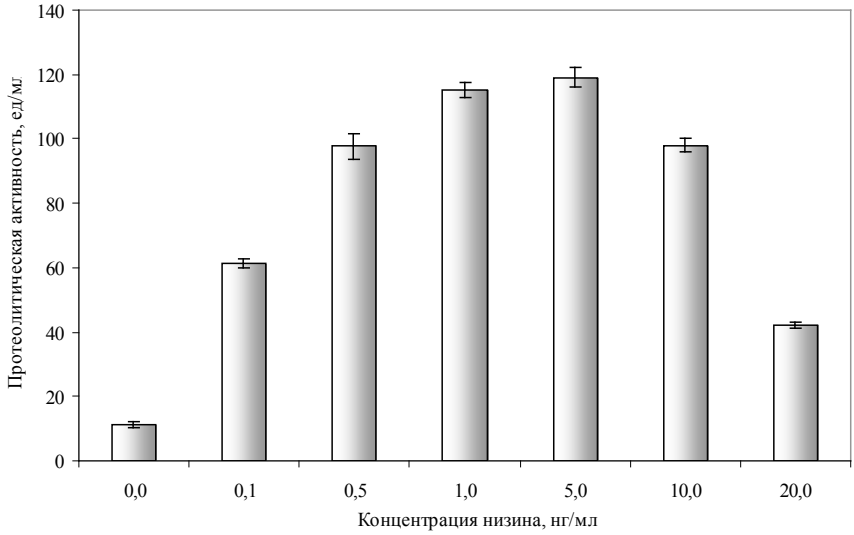



Рис. 1. Зависимость протеолитической активности *L. lactis* pNZ45subC от концентрации низина

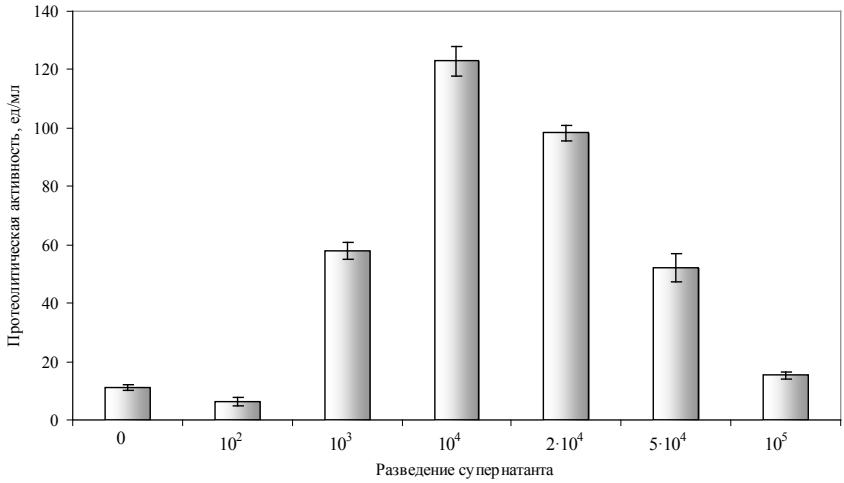



Рис. 2. Зависимость протеолитической активности *L. lactis* pNZ45subC от концентрации супернатанта

Поскольку уровень протеолитической активности в образцах, индуцированных низином и супернатантом, разведенным в $10^4$ раз, находится прак-

тически на одинаковом уровне, то в дальнейших исследованиях индукция проводилась супернатантом, полученным из штамма NZ9700, что является экономически более выгодным.

На следующем этапе были проведены исследования по влиянию различных углеводов на уровень протеолитической активности двух штаммов *L. lactis* pNZ45subC и pNZ48CE. Культивирование и индукция штаммов проводилась в среде М-17, содержащей 10% обезжиренного молока. Результаты измерения протеолитической активности представлены на рис. 3, 4.

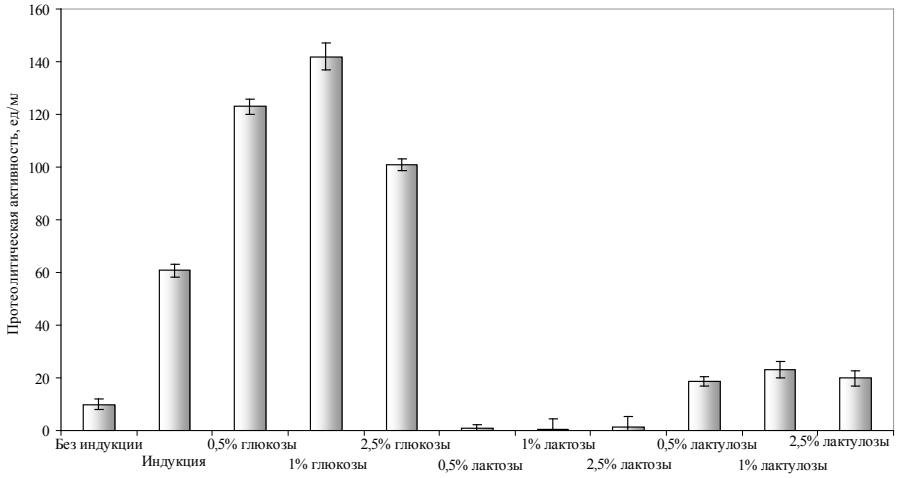



Рис. 3. Зависимость протеолитической активности *L. lactis* pNZ45subC от вида и концентрации углеводов

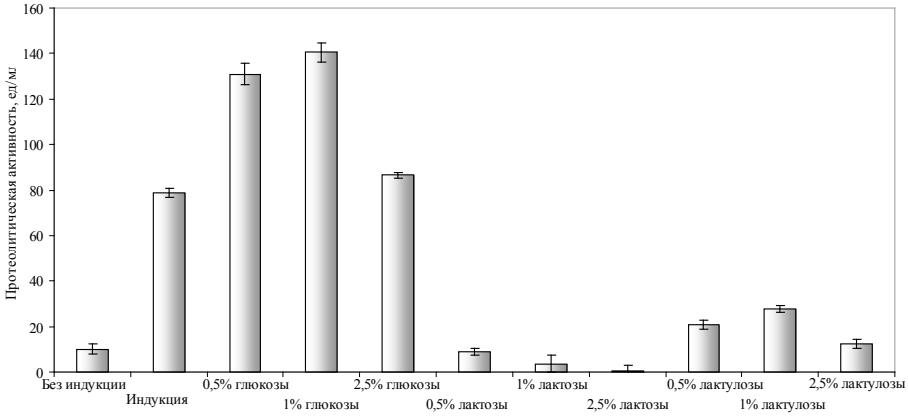



Рис. 4. Зависимость протеолитической активности *L. lactis* pNZ48CE от вида и концентрации углеводов

Как видно из рис. 3, 4, наивысший уровень протеолитической активности штаммов *L. lactis* pNZ45subC и pNZ48CE отмечен в образцах, содержащих глюкозу. Присутствие же в среде лактозы и лактулозы, вероятно, блокирует действие низина, вследствие чего протеолитическая активность обоих штаммов близка к 0.

## Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили установить возможность замены низина, необходимого для индукции штаммов *L. lactis* pNZ45subC и pNZ48CE, на супернатант, полученный из низинпродуцирующего штамма *L. lactis* NZ9700. При этом использование разведенного в $10^4$ раз супернатанта обеспечивает тот же уровень протеолитической активности, что и 0,5–10 мг/мл низина.

Наивысшая протеолитическая активность наблюдается при культивировании штаммов *L. lactis* pNZ45subC и pNZ48CE в среде M-17 с добавлением 10% обезжиренного молока и 0,5–1% глюкозы. Поскольку протеолитическая активность образцов с добавлением глюкозы 0,5 и 1% находится практически на одинаковом уровне, то экономически более выгодным является внесение меньшей концентрации углевода – 0,5%. Добавление в среду для культивирования лактозы и лактулозы способствует значительному снижению протеолитической активности обоих штаммов *L. lactis* и, по всей видимости, ингибирует действие низина. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что внесение лактозы и лактулозы не будет активизировать протеолитическую активность молочнокислых лактококков и, как следствие, возникновение пороков кисломолочных продуктов.

## *Литература*

1. *Blatny J.M., Ertesvag H., Nes I.F., Valla S.* Heterologous gene expression in *Lactococcus lactis*; expression of the *Azotobacter vinelandii* algE6 gene product displaying mannuronan C-5 epimerase activity // FEMS Microbiology Letters. 2003. Vol. 227, is. 2. P. 229–235.
2. *Kunji E.R., Slotboom D.J., Poolman B. Lactococcus lactis* as host for overproduction of functional membrane proteins // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes. 2003. Vol. 1610, is. 1. P. 97–108.
3. *Morello E.L., Bermudez-Humaran G., Llull D. et al. Lactococcus lactis*, an efficient cell factory for recombinant protein production and secretion // Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology. 2008. № 14. P. 48–58.
4. *Nouaille S., Ribeiro L.A., Miyoshi A., Pontes D. et al.* Heterologous protein production and delivery systems for *Lactococcus lactis* // Genetics and Molecular Research. 2003. № 2. P. 102–111.
5. *Bolotin A., Wincker P., Mauger S. et al.* The complete genome sequence of the lactic acid bacterium *Lactococcus lactis ssp. lactis* IL1403 // Genome Research. 2001. № 11. P. 731–753.

6. *Siezen R.J., Bayjanov J., Renckens B., Wels M. et al.* Complete genome sequence of *Lactococcus lactis subsp. lactis* KF147, a plant-associated lactic acid bacterium // Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology. 2003. Vol. 192. P. 2649–2650.
7. *Wegmann U., O'Connell-Motherway M., Zomer A. et. al.* Complete genome sequence of the prototype lactic acid bacterium *Lactococcus lactis subsp. cremoris* MG1363 // Journal of Bacteriology. 2007. Vol. 189, № 8. P. 3256–3270.
8. *Храмцов А.Г., Рябцева С.А., Полищук Д.О. (Мячина Д.О.).* Разработка технологии цельномолочных продуктов с внесением концентрата лактулозы // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2003. № 1 (6). С. 30–32.
9. *Рябцева С.А., Брацихина М.А., Ганина В.И.* Проблема сохранения жизнеспособности заквасочной микрофлоры и пути ее решения // Молочная промышленность. 2010. № 1. С. 22–23.
10. *Platteeuw C., van Alen-Boerrigter I. et al.* Food-grade cloning and expression system for *Lactococcus lactis* // Applied and Environmental Microbiology. 1996. Vol. 62, № 3. P. 1008–1013.
11. *Terzaghi B.E., Sandine W.E.* Improved medium for lactic streptococci and their bacteriophages // Applied Microbiology. 1975. Vol. 29, № 6. P. 807–813.

*Поступила в редакцию 03.09.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 47–54***

doi: 10.17223/19988591/20/4

**Maria A. Bratcikhina, Svetlana A. Ryabtseva**

*North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia*

## INFLUENCE OF CARBOHYDRATES ON PROTEOLYTIC ACTIVITY OF *Lactococcus lactis* STRAINS

*Lactococcus lactis is a Gram-positive lactic acid bacterium that is commonly used in traditional food industry such as cheese, fermented milk products and butter production. In addition, it is extensively used in modern biotechnological applications. Recently,many studies have been done on physiology and genetics of this bacterium, therefore a wide variety of genetic tools have been developed. Nowadays several genomes of L. lactis strains are completely sequenced. One of important properties of lactic acid bacterium is their proteolytic activity. The strains with a high level of proteolytic activity are used in cheese production, but their usage in fermented milk products production can lead to flaw initiation. Several carbohydrates, for example, prebiotic lactulose can influence starter microflora properties. In this research work the influence of lactulose, lactose and glucose on proteolytic activity of 2 strains L. lactis pNZ45subC and NZ48CE was studied.*

*First, the gene expression was induced by the addition of nisin to the final concentration of 0.1 ng/ml, 0.5 ng/ml, 1 ng/ml, 2 ng/ml, 5 ng/ml, 10 ng/ml and 20 ng/ml. The induced and noninduced cells were harvested after 20 h, and the proteolitic activity assay was performed. The highest proteolitic activity was observed after induction of 1 ng/ml and 5 ng/ml, in noninduced strains proteolytic activity was close to zero. To verify the optimal condition for the protein overexpression, a range of the nisin and the NZ9700 supernatant concentration was tested. All inducted cultures showed higher enzymatic activity than the non-inducted culture. The highest activity around 120 U/mL was obtained when 10 000–20 000 diluted supernatant from L. lactis NZ9700 was used.*

*These results are comparable with the results received for 1–5 ng/mL nisin induction. In further experiments the supernatant of the NZ9700 strain was used.*

*The highest proteolytic activity for both strains was observed during the growth on M17 medium supplemented with 10% milk and 0.5–1.0% of glucose. Growth of bacteria only in M17 did not lead to high enzymatic activity of the culture under induction, what might suggest that the secreted protease is not stable under these conditions. Lactose and lactulose presence probably block nisin action and the level of proteolytic activity was close to zero. It means that adding lactose and lactulose to fermented milk products will not lead to activation of L. lactis pNZ45subC and NZ48CE proteolytic activity and will not cause flaw initiation.*

**Key words:** *proteolytic activity; lactic acid microorganisms; Lactococcus lactis; nisin.*

*Received September 03, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 55–67*

УДК 635.09 : 502.3
doi: 10.17223/19988591/20/5

**R.K. Sinha**

*Griffith University, Australia*

# ORGANIC FARMING BY VERMICULTURE: PRODUCING CHEMICAL-FREE, NUTRITIVE AND HEALTH PROTECTIVE FOOD FOR THE SOCIETY

*Vermicompost produced from 'organic wastes' are scientifically proving to be an 'extraordinary powerful growth promoters and protectors' for crops (5–7 times over other bulky organic fertilizers and 20–40% higher over chemical fertilizers). They are rich in NKP, micronutrients, beneficial soil microbes like 'nitrogen-fixing' and 'phosphate solubilizing' bacteria, 'mycorrhizal fungi', humus and growth hormones – auxins, gibberellins and cytokinins. It has very high 'porosity', 'aeration', 'drainage' and 'water holding capacity' and makes the soil soft & fertile. More significantly it also protect plants against various pests and diseases either by suppressing or repelling them or by inducing biological resistance in plants to fight them or by killing them by their beneficial microbes (chitin and cellulose degraders). 'Vermiwash' (liquid filtered from worm's body) and the 'vermicompost tea' (fermented solution in water) also works as 'powerful bio-pesticides' eliminating the use of toxic chemical pesticides. Organically grown fruits & vegetables especially on 'earthworms & vermicompost' have been found to be highly nutritious, rich in 'proteins, minerals & vitamins' and 'antioxidants' than their chemically grown counterparts and can be highly beneficial for human health They have elevated antioxidants levels in about 85% of the cases studied. They have been found to be protective against several forms of 'cancers' and against 'cardiovascular diseases'.*

**Key words:** *vermicompost; earthworms; biofungicides; the nutritional value of food; "organic food"; crop yields; antioxidants.*

## Introduction

Agrochemicals which ushered the 'green revolution' in the 1950-60's came as a 'mixed blessing' for mankind. It boosted food productivity, but at the cost of environment and society. It dramatically increased the 'quantity' of the food produced but decreased its 'nutritional quality' and also destroyed physical, chemical and the biological properties' of soil over the years of use. It killed beneficial soil organisms which help in renewing natural fertility. It also impaired the power of 'biological resistance' in crops making them more susceptible to pests and diseases. Over the years it has worked like a 'slow poison' for the farm soil and the society. The excessive use of 'nitrogenous fertilizer' (urea) has also led to increase in the level of 'inorganic nitrogen' content in groundwater (through leaching effects) and in the human food

with grave consequences for the human health. Chemically grown foods have adversely affected human health all over the world. According to UNEP and WHO some 25 million farmers and agricultural workers are poisoned by pesticides every year and nearly 3 million people suffer from 'acute pesticide poisoning' and some 10 to 20 thousand people die every year from it in both developed and developing countries [1].

Also, there has been a serious decline in the 'nutritional values' of food produced by agrochemicals in the wake of 'green revolution'. More concerning is that there is a significant increase in some undesirable constituents like 'nitrates' and 'free amino acids' in chemically grown crops. Nitrates can potentially endanger health. Davis et al. [2] compared the nutritive contents of 43 garden crops between 1950 (beginning of chemical farming) and 1999 and found that there was a reliable decline in 6 nutrients viz. proteins, calcium, potassium, iron, riboflavin and vitamin C ranging from 6% in proteins to 38% in riboflavin. Significantly lower 'carotene' was found in all vegetable crops produced by chemical fertilizers as compared to organically grown crops [3].

To resolve various problems related to 'human food safety, nutritional quality and environmental security' a global movement is going on to scientifically revive traditional 'Organic Farming' systems [4]. Scientifically produced 'organic fertilizers' with recent knowledge in biotechnologies are much more nutritive and productive than those produced traditionally by farmers in earlier days. Organic foods are significantly rich in 'antioxidants', 'proteins', 'vitamins' and essential 'minerals'. They have also been found to be 'protective' to human health even against 'colon cancer' and 'breast cancer' [5].

Organic farming systems with the aid of 'Vermiculture Biotechnology' promoted by earthworms which was visioned by Sir Charles Darwin centuries ago calling them as 'friends of farmers' can resolve diverse problems related to safety, security and productivity of food, protection of farmlands and farmers in most economical way. Earthworms have protected the 'earth' for over 600 million years and have fed people since mankind arrived on earth. Earthworms secrete 'humus' in soil which is essential for plant growth. Earthworms vermicompost give a very 'high food productivity' comparable to or even better than chemical fertilizers with significantly 'higher nutritional quality' while also improving the physical, chemical and biological properties of soil. Vermicompost is a highly nutritive and powerful 'plant growth promoter and protector' and has scientifically proven to be a 'miracle plant growth promoter'. It is rich in NKP, micronutrients, beneficial soil microbes and also contains plant growth hormones and enzymes secreted by earthworms. Vermicompost retains nutrients for long time and also 'protects crops from pests and diseases'. It has a high 'moisture holding capacity' and hence also reduces the use of water for farm irrigation by 40–50%. The 'vermiwash' (liquid produced during vermicomposting) and 'vermicompost tea' (solution of vermicompost produced in water) are highly effective 'bio-pesticides' with 100% control of crop pests and diseases.

## Chemically Produced Foods: Slow Poison for Mankind

Adverse effects of agro-chemicals on the health of farmers using them and the society consuming chemically grown food have now started to become more evident all over the world. Fruit and vegetables are foods that receive the highest doses of pesticides. Millions of people suffer from 'acute pesticide poisoning' and thousands die every year from it in developing countries. The US have some 600 pesticides in use today [6]. The US scientists predict that up to 20,000 Americans may die of cancer, each year because of low levels of 'residual pesticides' in chemically grown food [7].

A report by the Pesticide Action Network of North America and Commonwealth tells that the Americans can experience up to 70 daily exposures to residues of POPs (Persistent Organic Pollutants) including DDT and Dioxins through their foods. Two most pervasive POPs found in food are 'dieldrin' and DDE (breakdown product of DDT). The US Agriculture Department showed that 73% of the food grown conventionally by agrochemicals had residues from at least 'one pesticide' and were 6 times as likely as 'organically grown foods' to contain multiple pesticide residues. Jones [6] reported 35% of the food purchased in the US has detectable pesticides levels, 1–3% above the legal tolerance levels. Heaton [8] reported 48% of the fruit and vegetables in the UK have detectable pesticides residues. Many of these chemical residues remain on produce after washing and some are taken up by the entire plant and contaminate the entire flesh. Some 53 fruits and vegetables have been identified which have the most and least 'pesticides residues after 'washing and peeling' as pesticides can even penetrate the skin. Apples top the list with 92% containing two or more pesticides as more pesticides are used after the harvest for longer shelf life to fruit. Apples have been found to contain 13 times the average residue levels and carrots can have 29 times the average [8]. This is followed by Celery, Strawberries, Peaches, Spinach, Grapes, Potatoes and Lettuce. Exposure to these chemicals is linked with serious diseases and developmental disorders like 'Nervous System Disorders', 'Immune System Suppression', Breast and Other Cancers' 'Reproductive Damages', 'Impairment of Brain Development in Children' and 'Disruption of Hormonal Systems' [9].

Studies indicate that there is a significant amount of 'residual pesticides' contaminating our food stuff long after they are taken away from farms for human consumption. American studies found detectable levels of DDT in 17% of carrots tested 20 years after this pesticide was banned in US [8]. In an Indian study vegetable samples were contaminated 100% with HCH and 50% with DDT. Bhatnager and Sharma [10] reported pesticide residues in wheat flour samples. Contamination with HCH was 70%, Heptachlor 2 was 45%, Aldrin 45% and DDT 91%. 60% of water samples were found to be contaminated with Aldrin and 50% with DDT. They were all higher than permissible limits of WHO. A study made by the Society for Research and Initiative for Sustainable Technologies and Institutions (SRISTI), Ahmedabad, India, to analyse the residual pesticide in soils

of croplands of Gujarat found that 41 out of 70 samples contained insecticidal residues of Phosphamidon, DDVP, Methyl parathion, Malathion, Chlorpyriphos and three different pyrethroids [11]. Rao [12] also reported residues of pesticides in meat, fish, eggs, butter, milk including mother's milk and human fat in India. The contamination was 100% with HCH, 69% with DDT and 43% with aldrin. In human fat DDT residue ranged from 1.8 ppm in Lucknow to 22.4 ppm in Ahmedabad; HCH ranged from 1.6 ppm in Bombay to 7 ppm in Bangalore.

## Organic Farming by Vermiculture: Producing Chemical-free, Nutritive and Health Protective Food for the Society

Organically grown fruit and vegetables especially on 'vermicompost' have been found to be highly nutritious, richer in 'antioxidants' than their chemically grown counterparts and can be highly beneficial for human health [13]. Organic foods have elevated antioxidants levels in about 85% of the cases studied with average levels being 30% higher compared to chemically grown foods [14–16]. Smith [17] reported high mineral contents in organic foods. Antioxidant vitamins in vegetables are some of nutrients besides vitamins, minerals, flavonoids and phytochemicals, which contribute greatly to human health protection. Studies indicate that organic foods are high in 'organic acids' and 'poly-phenolic compounds' many of which have potential health benefits like antioxidants [18]. A Japanese study indicated that organic vegetables had 30% to 10 times higher levels of 'flavonoids' as compared to chemically grown counterparts and with very high 'anti-mutagenic activity'. This is of great significance in preventing some deadly diseases leading to tremendous health benefits [19]. The greatest anti-mutagenic activity was found in organic spinach.

Leclerc et al. [20] found that carrot and celeriac roots grown organically were richer in 'ascorbic acids' and 'β-carotene' contents. Organic potatoes also had significantly high 'ascorbic acids' than those produced chemically. Significantly higher vitamin C was reported in organically grown spinach, tomato, turnip, apple, cabbage, carrots, beetroots, celery, lentil, lettuce, pepper, potato and pears [3]. In a ten-year comparative study Mitchell [21] reported levels of flavonoids 'quercetin' and 'kaempferol' in organic tomatoes (115.5 and 63.3 mg per gram of dry matter) were 79 and 97% higher than those in chemically grown tomatoes (64.6 and 32.06 mg per gram of dry matter) respectively. The levels of flavonoids increased over time in samples of tomatoes treated organically. Ismail et al. [22] analyzed β-carotene, vitamin C and riboflavin contents and found that swamp cabbage grown organically was richer in β -carotene, vitamin C and riboflavin contents among the entire samples studied. Worthington [23] reviewed 41 organic crops and found 27% more vitamin C, 21.1% more iron (Fe), 29.3% more magnesium (Mg), and 13.6% more phosphorus (P) in them as compared to chemically grown crops. There was an increase in iron (Fe), calcium (Ca), magnesium (Mg), phosphorus (P) content in organically grown spinach, tomato, turnip, apple, cab-

bage, carrots, beetroots, celery, lentil, lettuce, pepper, potato and pears. In addition, organic products had 15.1% less nitrates than their chemical counterparts. Heaton [8] found 14 studies showing average 50% lower nitrates in organically grown crops. Shankar and Sumathi [3] reported significantly higher 'nitrates' in chemically grown tomatoes. Nitrates in food is linked with 'gastric cancer' (as it can be transformed into nitrosamines in the stomach) and 'infantile methaemoglobinaemia (blue baby syndrome) and may affect DNA alkylation and transcription, teratogenesis [24].

Schuphan [25] reported the results of 12 years of experiment on vegetables grown organically on compared with NPK. The dry matter increased by 23%, relative protein by 18%, ascorbic acids (vitamin C) by 28%, total sugars by 19%. Among the minerals potassium (K) increased by 18%, calcium (Ca) by 10%, phosphorus (P) by 13% and iron (Fe) by 77% (in spinach). The undesired constituents in organic crops diminished – nitrates by 93% (in spinach), free amino acids by 42 % and sodium (Na) by 12%. He also studied an increase in proteins by 4–6% in spinach, 33–40% in savoy, 15–24% in lettuce, 24–37% in celeriac, 21–25% in carrots and slightly in potatoes. The reduction in 'free amino acids' by organic fertilizers is beneficial for crops. Aphids feeding on plants use this as a source of protein.

Organic fertilizers unequivocally increase one of the most important essential amino acids 'methionine' which plays a key role in the biological value of proteins. Plant breeders are keen to increase these amino acids genetically. A serious negative impact of use of chemical fertilizers is the increase in 'water contents' of plant tissues. It other terms, a 'decrease in dry matter'. On the contrary, all organic fertilizers significantly increase the 'dry matter' contents in plants even up to 96%.

## Organic Foods Reduces the Risk of Some Cancers

More significantly, *in vitro* studies indicate that organic foods can reduce the risks of 'cancer' in humans. The 'anti-mutagenic' properties of organic foods carry great significance in this respect [19, 26]. A wide range of studies show that antioxidant plant phenolic compounds are 'anti-proliferative' and can prevent or slow tumour progression. Flavonoids can interfere with several steps in the development of cancers. They can protect DNA from oxidative damage that leads to abnormal cell proliferation. They can inhibit 'cancer promoters' and activate 'carcinogen-detoxification system' [27, 28]. Recent research has confirmed a specific mechanism leading to the anti-cancer activities of the flavonoids 'resveratrol'. It starves cancer cells by inhibiting the actions of a key protein that helps feed cancer cells [15].

The studies of flavonoids extracted from 'cranberries' have revealed significant impacts on a number of human cancer cell lines. It is suggested that flavonoids extracts from 'cranberries' might someday find application as a novel 'anti-cancer'

drug [26]. Extracts from organic strawberries showed higher 'anti-proliferative' activity against 'colon cancer' and 'breast cancer' cells than did the extracts from conventional strawberries [5]. A european study found that the carrot antioxidant 'falcarinol' satisfied six criteria suggested for food intake of antioxidants to reduce the risk of cancers [15]. The tomato is one of the most 'protective food' due to excellent source of balanced mixture of minerals and antioxidants, including vitamin C, total carotene and lycopene. Lycopene has been found to have preventive effects on 'prostate cancer' in human beings. Lumpkin [29] reported significantly a higher lycopene in tomatoes grown organically. A potent antioxidant in canola oil has recently been discovered which has 'anti-mutagenic', 'anti-proliferative' and 'anti-bacterial impacts' [30].

## Protection from Cardiovascular Diseases by Organic Foods Rich in Antioxidants

A number of studies have suggested that antioxidants vitamins, especially 'vitamin E' and 'beta-carotene' (precursor of vitamin A) may prevent the initiation and progression of cardiovascular diseases. A Japanese study indicated significant protection from coronary heart diseases in women to the relatively high dietary intake of 'quercetin' and 'isoflavones'. The organic foods contain significantly high amounts of both these antioxidant vitamins and flavonoids. Possible importance of 'lycopene' (found in significantly high amounts in organic tomatoes) has also been suggested for protection from cardiovascular diseases [15].

## Impact of Earthworms and Vermicompost on Nutritional Values of Food Produced

Studies made at CSIRO (Council of Scientific & Industrial Research Organization), Australia, found that the presence of earthworms (*Aporrectodea trapezoids*) in soil lifted protein value of the grain of wheat crops (*Triticum aestivum*) by 12% [31]. Shankar and Sumathi [3] studied tomatoes grown on vermicompost and reported that they had significantly higher total antioxidants, total carotene, iron (Fe), zinc (Zn), crude fibre and lycopene content (which protect from 'prostrate cancers') than other organically grown tomatoes. Also tomatoes, spinach and amaranthus grown on vermicompost had a significantly higher vitamin C. Vermicompost applied tomatoes also registered significantly higher 'shelf-life' when stored at room temperature.

## Earthworms and Vermicompost: Posed to Bring Revolution in Organic Farming

Vermicompost is a nutritive 'organic fertilizer' rich in NKP (nitrogen 2–3%, potassium 1.85–2.25% and phosphorus 1.55–2.25%), micronutrients, beneficial

soil microbes like 'nitrogen-fixing bacteria' and 'mycorrhizal fungi' and are scientifically proved as 'miracle growth promoters and protectors' with significantly higher agronomic impacts (5–7 times) over the conventional composts discussed above. Kale and Bano [32] reports as high as 7.37% nitrogen (N) and 19.58% phosphorus as $P_2O_5$ in worms vermicast. Exchangeable potassium (K) was over 95% higher in vermicompost. There is also a good amount of calcium (Ca), magnesium (Mg), zinc (Zn) and manganese (Mn). Additionally, vermicompost contains enzymes like amylase, lipase, cellulase and chitinase, which continue to break down organic matter in the soil (to release the nutrients and make them available to the plant roots) even after they have been excreted. Annual application of adequate amount of vermicompost also leads to a significant increase in soil enzyme activities such as 'urease', 'phosphomonoesterase', 'phosphodiesterase' and 'arylsulphatase' and the soil has a significantly more electrical conductivity (EC) and near neutral pH [33].

There have been several reports that worms worked waste and their excretory products (vermicast) can induce excellent plant growth. It has been found to influence all yield parameters such as-improved seed germination, enhanced rate of seedling growth, flowering and fruiting of major crops like wheat, paddy, corn, sugarcane, tomato, potato, brinjal, okra, spinach, grape and strawberry as well as of flowering plants like petunias, marigolds, sunflowers, chrysanthemums and poinsettias.

The application of vermicompost significantly reduces the demand for irrigation by nearly 30–40%. Most remarkable observation had less incidence of pests and disease attacks in vermicompost applied crops. There has been considerable evidence in recent years regarding the ability of vermicompost to protect plants against various pests and diseases either by suppressing or repelling them or by inducing biological resistance in plants to fight them or by killing them through pesticidal action [34]. According to the estimate of an American researcher, 1000000 (one million) earthworms in a garden plot provide the same benefit as three gardeners working 8 hours in shifts all year round, and moreover having 10 tons of manure applied in the plot [35].

## Studies on High Growth Impacts of Vermicompost on Crops over Chemical Fertilizers

There have been several reports that earthworms and its vermicompost can induce excellent plant growth and enhance crop production. Edwards and Burrows [36] found that vermicompost consistently improved seed germination, enhanced seedling growth and development, and increased plant productivity. Application of vermicompost in potted and field crops displayed excellent growth performances in terms of height of plants, colour and texture of leaves, appearance of fruiting structures etc. as compared to chemical fertilizers and the marketed conventional composts certified by Compost Australia. There was also less incidences of pest

and disease attack & reduced demand of water for irrigation. Our studies have also confirmed that [11, 37, 38, 40, 13, 41, 42, 43].

– Wheat Crops (***Triticum aestivum***)

Baker and Amato [31] found that earthworms (*Aporrectodea trapezoids*) increased growth of wheat crops by 39% and grain yield by 35%. It also resisted crop diseases as compared to the control. Palaniswamy [44] also reported that earthworms and its vermicast improve the growth and yield of wheat by more than 40%.

**– Rice Crops (*Oryza sativa*)**

Kale and Bano [32] studied the grain yield of rice crops on vermicompost and chemical fertilizers and found that rice crops receiving vermicompost (10,000 kg / ha) were statistically at par with those receiving chemicals (200 kg / ha). Guerrero [45] also reported that yield of grain in rice crops was 40 % higher with vermicompost.

**– Corn Crops (*Zea mays*)**

Guerrero [45] reported 14% increase in ear yield of corn crops applied with vermicompost (5 ton / ha) as compared to inorganic fertilizers applied at normal recommended dose.

**– Grapes (*Vitis vinifera*)**

Buckerfield and Webster [46] found that vermicompost boosted grape yield by two-fold as compared to chemical fertilizers. Treated vines with vermicompost produced 23% more grapes due to 18% increase in bunch numbers. Still more significant was that 'single application' of vermicompost had positive effects on yields of grapes for long 5 years.

**– Strawberries: (*Fragaria ananasa*)**

Arancon et al. [47] studied the agronomic impacts of vermicompost and inorganic (chemical) fertilizers on strawberries. Significantly the 'yield' of marketable strawberries and the 'weight' of the 'largest fruit' was 35 % greater on plants grown on vermicompost as compared to inorganic fertilizers in 220 days after transplanting.

**– Cherries:**

Webster [48] studied the agronomic impact of vermicompost on cherries and found that it increased yield of 'cherries' for three years after 'single application'. At the first harvest, trees with vermicompost yielded an additional $ 63.92 and $ 70.42 per tree respectively. After three harvests profits per tree were $ 110.73 and $ 142.21 respectively.

Important Feedbacks from Farmers in India & Australia Using Vermicompost

Some of the important observations of farmers using vermicompost were:

Reduced use of 'water for irrigation' as application of vermicompost over successive years improved the 'moisture holding capacity' of the soil.

Flower blooms were more colourful and bigger in size.

**Farmers' opinion on the use of vermicompost on various crops**

| Crops | Doses of vermicompost applied | Growth impact | Crops | Doses of vermicompost applied | Growth impact |
|---|---|---|---|---|---|
| **Cereals** | 2 tons / acre | | **Ornamentals** | 4 tons / acre | |
| Oats | | very good | Roses | | excellent |
| Rice | | Excellent | – | | excellent |
| Maize | | very good | Marigold | | excellent |
| **Oil Seeds** | 3–5 tons / acre | | **Fruits** | 2–3 kg / plant | |
| Sun Flower | | very good | Grapes | | excellent |
| Ground Nut | | very good | Banana | | excellent |
| Soybean | | very good | Water-melon | | excellent |
| Mustard | | very good | Custard apple | | excellent |
| **Vegetables** | 4–6 tons / acre | | Pomegranate | | excellent |
| Cabbage | | excellent | Mango | | very good |
| Potato | | excellent | **Other Crops** | 3–5 tons / acre | |
| Tomato | | excellent | Sugarcane | | excellent |
| Carrot | | excellent | Cotton | | very good |
| Pumpkin | | excellent | Tea | | good |
| Cucumber | | very good | Coffee | | very good |

## Conclusions and Remarks

This is a revolutionary century for world agriculture and 'Sustainable Agriculture' is the key word. It has to be 'economically sustainable' (at low-cost with high productivity); environmentally sustainable (without any adverse effects on soil, air, water and biodiversity and with potential to mitigate global warming); and 'socially sustainable (nutritive and protective foods for the society to promote human health and without any adverse effects). Organic farming by vermiculture promises to fulfil all the above conditions. A quiet 2nd 'Non-Chemical Ever Green Revolution' is now taking place in world in various names like 'The Ecological Agriculture', 'Organic Agriculture' etc. Today over 60000 farmers in Bangladesh and 20000 in India are practising organic farming with the help of earthworms and its vermicompost [49].

Earthworms are justifying the beliefs of a great visionary scientists Sir Charles Darwin who called them as '*friends of farmers and unheralded soldiers of mankind working day and night under the soil*'. They are also justifying the beliefs of a great Russian Scientist Sir Anatoly Igonin who said '*Nobody and nothing can be compared with earthworms and their positive influence on the whole living Nature. They create soil and improve soil's fertility and provide critical biosphere's functions: disinfecting, neutralizing, protective and productive'*.

Earthworms vermicompost can truly be a 'sustainable alternative' to the agrochemicals which are proving destructive all on counts – socially (as slow

poison for the society), economically (increasing cost of food production due to high cost of chemical fertilizers), agronomically (degrading soil properties and its natural fertility and increasing susceptibility in crops to pest and diseases) and environmentally (soil and water pollution & greater emissions of greenhouse gases from the production and use of agrochemicals).

## *References*

1. *UNEP.* Breaking the Cycle of Poison: Report by Sarojeni V. Rangam. Publication of United Nation Environment Program, 2001. URL: www.ourplanet.com
2. *Davis D.R., Epp M.D., Riordan H.D.* Changes in USDA Food Composition Data for 43 Garden Crops, 1950 to 1999 // Journal of American Coll Nutrition. 2004. Vol. 23. P. 669–682.
3. *Shankar K.S., Sumathi S.* Effect of Organic Farming on Nutritional Profile of Tomato Crops: Central Research Institute for Dryland Agriculture. Hyderabad, India, 2008. URL: nitropdf.com/professional.
4. *Gehlot D.* Organic Farming: Components and Management; Agrobios (India). 401 p.
5. *Olsson M.E., Anderson C.S., Oredsson S. et al.* Antioxidants Levels and Inhibition of Cancer Cells Proliferation in Vitro by Extracts from Organically and Conventionally Cultivated Strawberries // Journal of Agricultural Food and Chemistry. 2006. Vol. 54. P. 1248–1255.
6. *Jones D.A.* Natural Pesticides the Evolution of Food Plants // Pesticide Science. 1999. Vol. 55. P. 634–636.
7. *UNEP/GEMS.* The Contamination of Food; Publication of United Nation Environment Program. 1992. № 5. URL: www.ourplanet.com.
8. *Heaton S.* Organic Farming: Food Quality and Human Health: A Review of the Evidence. Bristol : Soil Association of the United Kingdom, 2001. P. 38–44.
9. *Lloyd J.* Disturbing New Information: Pesticides in Food (www.offthegridnews.net) // USA TODAY: Personal Communication by George Hahn. 2011. URL: geohahn@gmail.com.
10. *Bhatanagar P., Sharma M.* Monitoring of Organochlorine Pesticide Residues in Wheat and Drinking Water Samples from Jaipur. Indore : Academy of Environmental Biology Symposium on 'Toxicity Evaluation in Biosystems', 1993. November. № 7– 9. P. 46–52.
11. *Sinha R.K., Herat S., Valani D., Chauhan K.* Vermiculture and Sustainable Agriculture' // American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences: IDOSI Publication (Special Issue). 2009. P. 1–55.
12. *Rao B.N.* Pollution Problems Caused by Pesticides // Symposium on Toxicity Evaluation in Biosystem. Indore: Academy of Environmental Biology. 1993. November. № 7–9. P. 21–25.
13. *Sinha R.K., Valani D., Soni B.K., Chandran V.* Earthworms Vermicompost: A Sustainable Alternative to Chemical Fertilizers for Organic Farming // Agricultural Issues & Policies. N.Y. (USA) : NOVA Science Publishers. 2011. 71 p.
14. *Organic* Food is Far More Nutritious: Newsletter of the National Association of Sustainable Agriculture Australia (NASAA). 2000. February. № 10. 36 p.
15. *Benbrook C.M.* Elevating Antioxidant Levels in Food through Organic Farming and Food Processing : Publication of Organic Centre for Education and Promotion, 2005. 81 p.
16. *Bourn D., Prescott J.A.* Comparison of the Nutritional value, Sensory Qualities and Food Safety of Organically and Conventionally Produced Foods // Critical Review of Food Science & Nutrition. 2002. Vol. 42. P. 1–34.
17. *Smith B.L.* Organic Foods Verses. Supermarket Foods: Elemental Levels // Journal of Applied Nutrition. 1993. Vol. 45. P. 35–39.

18. *Winter C.K., Davis S.F.* Organic Foods // Journal of Food Science. 2006. Vol. 71. P. 117–124.
19. *Ren H., Endo H., Hyashi T.* Antioxidative and Antimutagenic Activities and Polyphenol Contents of Pesticide-Free Organically Cultivated Green Vegetables Using Water Soluble Chitosan as a Soil Modifier and Leaf Surface Spray // Journal of Science of Food and Agriculture. 2001. Vol. 81 (15). P. 1426–1432.
20. *Leclerc J., Miller M.L., Joliet E., Rocquelin G.* Vitamin and Mineral Contents of Carrot and Celeriac Grown Under Mineral and Organic Fertlization // Journal of Biological Agriculture & Horticulture. 1991. Vol. 7. P. 339–348.
21. *Mitchell A.E.* Ten-Year Comparison of the Influence of Organic and Conventional Crop Management Practices on the Flavonoids in Tomatoes // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. June. URL: aemitchell@ucdavis.edu; www.mindfully.org.
22. *Ismail A., Cheah S.F.* Determination of Vitamin C, β-carotene and Riboflavin Contents in Five Green Vegetables Organically and Conventionally Grown // Malaysian Journal Of Nutrition. 2003. Vol. 9(1). P. 31–39.
23. *Worthington V.* Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruits, Vegetables and Grains // Journal of Alternative & Complementary Medicine. 2001. Vol. 7(2). P. 161–173.
24. *McKnight G.M., Duncan C.W., Leifert C., Golden M.H.* Dietary Nitrate in Man: Friend or Foe? // British Journal of Nutrition. 1999. Vol. 81. P. 349–358.
25. *Schuphan W.* Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments // Plant Foods for Human Nutrition. 1974. Vol. 23. P. 333–358.
26. *Ferguson L.R., Philpot M., Karunasinghe N.* Dietary Cancer and Prevention Using Antimutagens // Toxicology. 2004. Vol. 198 (1–3). P. 147–159.
27. *Galati G., O'Brien P.J.* Potential Toxicity of Flavonoids and Other Dietary Phenolics: Significance for their Chemopreventive and Anticancer Properties // Free Radical Biology & Medicine. 2004. Vol. 4. P. 28.
28. *Galati G., Teng S., Moridani M.Y., Chan T.S., O'Brien P.J.* Cancer Chemoprevention and Apoptosis Mechanisms Induced by Dietary Polyphenolics // Drug Metabolism & Drug Interaction. 2000. Vol. 17(1–4). P. 311–349.
29. *Lumpkin H.M.* A Comparison of Lycopene and Other Phytochemicals in Tomatoes Grown Under Conventional and Organic Management Systems: The World Vegetable Centre. Taiwan : Technical Bull. AURDC, 2005. Vol. 34, is. 4. P. 4.
30. *Kuwahara H., Kanazawa A., Wakamatu D. et al.* Antioxidative and Antimutagenic Activities of 4,Vinyl-2,6-Dimethoxyphenol (Canolol) Isolated from Canola Oil // Journal of Agriculture Food and Chemistry. 2004. Vol. 52(14). P. 4380–4387.
31. *Baker G., Amato, M.* Increasing Earthworms Activity Benefit Crop Yields // Farming Ahead. 2001. Vol. 113. P. 52–53.
32. *Kale R.D., Bano K.* Field Trials with Vermicompost. An Organic Fertilizer // Proceedings of National Seminar on Organic Waste Utilization. Vermicomposting. Part B: Verms and Vermicomposting (Eds. M.C. Dash, B.K. Senapati and P.C. Mishra) Sri Artatrana Rontfor Five Star Printing Press, Burla, India, 1986. P. 151–157.
33. *Tiwari S.C., Tiwari B.K., Mishra R.R.* Microbial Populations, Enzyme Activities and Nitrogen-Phosphorus-Potassium Enrichment in Earthworm Casts and in Surrounding Soil of a Pineapple Plantation // Journal of Biology and Fertility of Soils. 1989. Vol. 8. P. 178–182.
34. *Vermicompost* as Insect Repellent // Biocycle. 2001. Jan. P. 1–19.
35. *Xu K., Dai X.* Culture and Utilization of Earthworms. China: Nanjing Publisher, 1998. 92 p.
36. *Edwards C.A., Burrows I.* The Potential of Earthworms Composts as Plant Growth Media / eds. by C.A. Edward, E.F. Neuhauser // Earthworms in Waste and Environmental Management. The Hague, Netherlands : SPB Academic Publishing, 1988. P. 21–32.
37. *Sinha R.K., Singh P.K., Valani D., Agarwal S.* Earthworms Vermicompost: An Economically Viable and Environmentally Sustainable Alternative to Destructive Chemical Fertilizers:

Some Experimental Studies on Potted & Farmed Cereal & Vegetable Crops // Advances in Environmental Research. N.Y. (USA): NOVA Science Publishers. 2011. Vol. 9 (Chapter 2). P. 41–78.

38. *Sinha R.K., Agarwal S., Chauhan K., Valani D.* The Wonders of Earthworms and its Vermicompost in Farm Production: Charles Darwin's 'Friends of Farmers', With Potential to Replace Destructive Chemical Fertilizers from Agriculture // Journal of Agricultural Sciences. 2010. Vol. 1 (2). P. 76–94.
39. *Sinha R.K., Valani D., Chauhan K., Agarwal S.* Embarking on a Second Green Revolution for Sustainable Agriculture by Vermiculture Biotechnology Using Earthworms: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin // Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 2010. Vol. 2(7). P. 113–128.
40. *Sinha R.K., Hahn G., Singh P.K., Suhane R.K., Anthonyreddy A.* Organic Farming by Vermiculture: Producing Safe. Nutritive and Protective Foods by Earthworms (Charles Darwin's Friends of Farmers) // American Journal of Experimental Agriculture. 2011. Vol. 1(4). P. 363–399.
41. *Sinha R.K., Sunil H.* Organic Farming: Producing Chemical-Free, Nutritive and Protective Food for the Society While also Protecting the Farm Soil by Earthworms and Vermicompost – Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin // Agricultural Science Research Journal. 2012. Vol. 2(5). P. 217–239.
42. *Sinha R.K., Dalsukh V., Vinod Ch., Brijal K.S.* Earthworms – The Soil Managers: Their Role in Restoration and Improvement of Soil Fertility; Softcover Book ; Agricultural Issues & Policies; NOVA Science Publishers, N.Y., USA : 2011. 54 p.
43. *Sinha R.K., Dalsukh V.* Vermiculture Revolution: The Technological Revival of Charles Darwin's Unheralded Soldiers of Mankind; Hardcover Book; NOVA Science Publishers, USA. 2011. 328 p.
44. *Palaniswamy S.* Earthworm and Plant Interactions / Tamil Nadu Agricultural University. Coimbatore, 1996. 52 p.
45. *Guerrero R.D.* Vermicompost Production and its Use in Crop Production in The Philippines / eds. by Rajiv K. Sinha et. al., Special Issue on 'Vermiculture Technology'// International Journal of Global Environmental Issues. 2010. Vol. 10. P. 378–383.
46. *Buckerfield J.C., Webster K.A.* Worm-Worked Waste Boost Grape Yield: Prospects for Vermicompost Use in Vineyards // The Australian and New Zealand Wine Industry Journal. 1998. Vol. 13. P. 73–76.
47. *Arancon N.Q., Edwards C.A., Bierman P., Welch C., Metzger J.D.* Influences of Vermicomposts on Field Strawberries: 1. Effects on Growth and Yields // Bioresource Technology. 2004. Vol. 93, № 2. P. 145–153.
48. *Webster K.A.* Vermicompost Increases Yield of Cherries for Three Years after a Single Application; EcoResearch, South Australia. 2005. URL: www.ecoresearch.com.au.
49. *Kesavan P.C., Swaminathan M.S.* Farm Green Revolution to Ever Green Revolution: Pathways and Technologies // Current Science. 2006. Vol. 91. P. 145–146.

*Received June 5, 2012*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 55–67***
doi: 10.17223/19988591/20/5

**Раджив К. Синха**

*Гриффитский университет, Австралия*

## ОРГАНИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ: ПРОИЗВОДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ И ПОЛЕЗНОЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

*Вермикомпост, получаемый из разнообразных органических отходов, является мощным стимулятором роста и средством защиты растений (в 5–7 раз превышая по своим свойствам органические удобрения и на 20–40% – химические). Вермикомпост содержит большое количество микроэлементов, полезных для почвенных бактерий, например азотфиксирующих или фосфатрастворяющих бактерий, а также микоризных грибов. В нем много гумусовых веществ и регуляторов роста – ауксинов, гиббереллинов и цитокининов. Вермикомпост хорошо структурирован и отличается высокой водоудерживающей способностью, тем самым улучшая аэрацию почвы и делая ее мягкой и плодородной. Вермикомпост защищает растения от различных болезней и вредителей, подавляя их жизнедеятельность, стимулирует устойчивость самих растений. Пищеварительные ферменты червей и так называемый вермикомпостный чай (ферментированная водная вытяжка из вермикомпоста) также могут использоваться как очень эффективный биопестицид, что позволяет избегать использования токсичных химических пестицидов. Отмечено, что фрукты и овощи, выращенные на вермикомпосте, обладают высокими питательными свойствами, богаты белком, минеральными элементами и витаминами. В 85% изученных случаев под воздействием вермикомпоста было отмечено повышение содержания антиоксидантов в плодах, оказывающих благотворное воздействие на здоровье человека и препятствующих развитию сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.*

**Ключевые слова:** *вермикомпост; дождевые черви; биофунгициды; питательная ценность пищевых продуктов; «органическая пища»; урожайность сельскохозяйственных культур; антиоксиданты.*

*Поступила в редакцию 05.06.2012 г.*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 68–76*

# БОТАНИКА

УДК 581.2, 581.6
doi: 10.17223/19988591/20/6

**Т.Н. Беляева[1], А.Н. Бутенкова[2], Ю.А. Чикин[2], О.А. Гайворонских[2]**

*[1]Сибирский ботанический сад Томского государственного университета (г. Томск)*
*[2]Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ФЛОКСА (*Phlox* L.) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ НА ЮГЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Приведены результаты изучения некоторых репродуктивных характеристик, изменчивости диаметра венчика, а также устойчивости к грибным заболеваниям 22 сортов флокса, культивируемых в Сибирском ботаническом саду. Отобраны сорта с высокими показателями фертильности и жизнеспособности пыльцы, перспективные для селекционных исследований. Выявлены сорта, устойчивые к септориозу и мучнистой росе в условиях открытого грунта. Установлено, что случаи поражаемости сортов флокса септориозом и мучнистой росой не связаны между собой.*

***Ключевые слова**: интродукция; флокс; фертильность пыльцы; жизнеспособность пыльцы; семенная продуктивность; грибные болезни.*

### Введение

Род Флокс (*Phlox* L., Polemoniaceae) включает 63 вида, распространенных преимущественно на территории Северной Америки (исключение – *Phlox sibirica* L., обитающий в Сибири) [1].

Флоксы относятся к числу ценных, высокодекоративных культур открытого грунта, популярность которой неуклонно возрастает. Они являются прекрасным материалом для создания цветников. В культуре флокс известен с 1732 г., в России – с середины XIX в., углубленное изучение культуры началось с 1935 г. [1]. Впервые флоксы появились в садах североамериканских поселенцев в XVIII в. С появлением их в Западной Европе и продвижением культуры вглубь континента были получены сорта, способные выносить условия континентального климата, но их разнообразие существенно ограничено, а даже наиболее стойкие не реализуют все свои декоративные качества. Следовательно, актуальной задачей является создание новых, устойчивых к неблагоприятным факторам среды высокодекоративных сортов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям конкретного региона.

Начало создания коллекции флоксов в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета (СибБС ТГУ) было положено А.Ф. Чигаевой в 50-х гг. XX в. [2]. В настоящее время коллекция флокса метельчатого насчитывает более 70 сортов отечественной и зарубежной селекции.

Цель данного исследования – сравнительный анализ некоторых декоративных и репродуктивных характеристик, а также устойчивости к грибным

заболеваниям сортов флокса в условиях лесной зоны Западной Сибири в связи с перспективами их практического использования и селекции.

## Материалы и методики исследования

Работа выполнена в 2007–2009 гг. в открытом грунте приоранжерейного и экспериментального участков Сибирского ботанического сада Томского государственного университета и в лабораторных условиях.

Материал для исследований получен из Главного ботанического сада Российской академии наук (ГБС РАН, г. Москва), Алтайской опытной станции (г. Горно-Алтайск), НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (г. Барнаул), Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук (ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск) и Ботанического сада Московского государственного университета. Объектами изучения послужили 21 сорт флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.) и сорт *Белая пирамида* флокса пятнистого (*Phlox maculata* L.).

*Phlox paniculata* произрастает в природе на лесных и пойменных лугах, в зарослях кустарников на востоке Северной Америки (бассейн р. Миссисипи) [3].

*Phlox maculata* распространен в природе на востоке США, где встречается на лугах, по берегам рек, в зарослях кустарников [3].

Изучение репродуктивной биологии проводили в соответствии с общепринятыми методическими разработками [4, 5]. Реальную семенную продуктивность и процент плодоцветения (отношение количества образовавшихся плодов к общему количеству цветков на побеге, выраженное в процентах) определяли на 20–50 соцветиях каждого сорта. Эталонные препараты пыльцы изготавливали в лабораторных условиях по методике Г. Эрдтмана [6]. Фертильность пыльцы изучалась окрашиванием красителем ацеторсеином [7]. Для определения фертильности анализировалось не менее 300 пыльцевых зерен с 15 соцветий каждого сорта. Жизнеспособность пыльцевых зерен определялась по методике И.Н. Голубинского [8]. В качестве питательной среды использовали 1%-ный агар-агар и раствор сахарозы разных концентраций (5, 10, 15, 20, 25, 30%).

Изучение поражаемости флоксов грибными болезнями проводили в период с июня по октябрь 2008–2009 гг. Степень поражения листьев флокса определялась по общепринятой методике [9] с использованием 5-балльной шкалы. Расчёт развития болезней проводился по формуле $R = (\Sigma(ab)/Nk)\times 100\%$, где $a$ – балл поражения; $b$ – число листьев с соответствующим баллом поражения; $N$ – общее число учетных листьев; $k$ – высший балл шкалы, по которой проводился учет.

Статистическая обработка результатов исследования и построение графиков выполнены в программе StatSoft STATISTICA 8.0.

## Результаты исследования и обсуждение

В природе цветки флокса специализированы к опылению бабочками, шмелями, некоторыми видами колибри [3]. В условиях г. Томска опылителя-

ми являются шмели рода *Bombus* (*B. hypnorum* и *B. lucorum*), а также представители отряда *Lepidoptera* преимущественно из родов *Gonepteryx* и *Pieris*.

Сравнение сортов флокса по диаметру венчика выявило преимущественно низкий уровень изменчивости по данному признаку в пределах сорта. Одними из наиболее стабильных (коэффициент вариации диаметра венчика до 10%) являются сорта *Арктика*, *Европа*, *Бах*, *Румяный*, *Фестивальный*, *Антарктида*, *Дымчатый коралл* и др. (рис. 1).

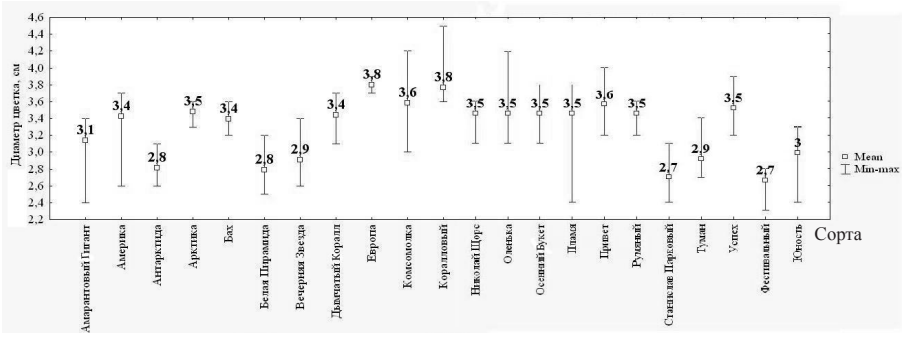



Рис. 1. Диаметр цветка сортов *Phlox*

Средние показатели диаметра венчика различных сортов варьируют значительно: в диапазоне от 2,8 до 4,6 см. Таким образом, внутрисортовая изменчивость данного признака несущественна, а превалирует межсортовая изменчивость. Сорта с более крупными цветками (*Коралловый*, *Успех*, *Привет*, *Комсомолка* и др.) привлекают к себе основное внимание и требуют центрального места в экспозиции. Однако в настоящее время перспективным направлением селекции является выведение мелкоцветковых форм, так как они являются более стабильными, имеют более плотное и многоцветковое соцветие и их проще вписать в любой ландшафт. На основе проведенных исследований для ландшафтного дизайна рекомендовано 6 мелкоцветковых сортов коллекции: *Антарктида*, *Фестивальный*, *Туман*, *Вечерняя звезда*, *Станислав парковый*, *Белая пирамида*.

Изучение фертильности и жизнеспособности пыльцы позволяет выявить, какие сорта рациональнее использовать в селекционных исследованиях.

Пыльцевые зерна *Ph. paniculata* многодырчатые, сфероидальные, 49,9–55,9 мкм в диаметре. Поры округлые, 5,9–7,3 мкм в диаметре, экзина 4,3–5,9 мкм, скульптура экзины сетчатая, ячеи округлые, стенки ячей состоят из ряда стерженьков. Установлено, что высокие показатели фертильности пыльцы (80–100%) отмечены у сортов *Коралловый*, *Оленька*, *Белая пирамида* и др., наиболее низкие – у сортов *Николай Щорс*, *Юность*, *Вечерняя звезда* и др. (рис. 2).

Максимальное прорастание пыльцы большей частью отмечено на агаре с самым высоким содержанием сахарозы (30%). Наиболее жизнеспособная пыльца у сортов флокса метельчатого *Туман* (98%), *Станислав парковый* (74%) и *Оленька* (71%), которые целесообразно использовать в качестве доноров

пыльцы при искусственном опылении. Практически нежизнеспособна пыльца сорта *Арктика*, *Снежок* и *Панама*. Выявлено, что в условиях интродукции на юге Томской области практически не плодоносят такие сорта флокса, как *Фестивальный* и *Белая пирамида*. Наиболее высокие показатели семенной продуктивности и процента плодоцветения зафиксированы у сортов *Николай Щорс*, *Румяный*, *Оленька*, *Юность* и *Дымчатый коралл* (рис. 3–4). Семенная продуктивность сортов колебалась в пределах от 1,8 до 25,2 семян на побег.

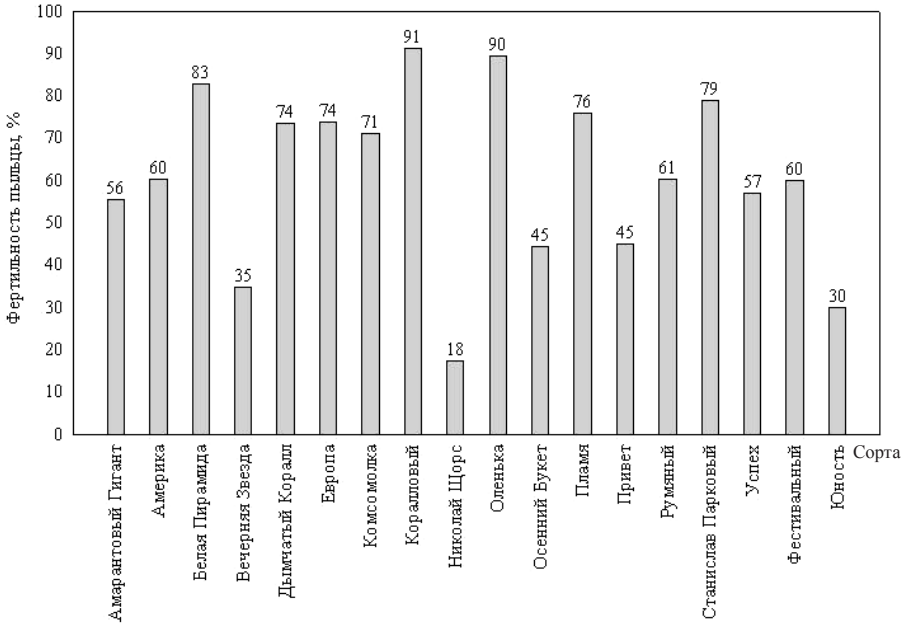



Рис. 2. Фертильность пыльцы сортов *Phlox*

Таким образом, в селекционных исследованиях в качестве материнских растений перспективны сорта *Николай Щорс*, *Румяный*, *Оленька*, *Юность* и *Дымчатый коралл*, а в качестве донора пыльцы следует использовать сорта *Туман*, *Станислав парковый* и *Оленька*.

Из неинфекционных повреждений флокса в литературе описаны два – растрескивание стебля и засыхание листьев [10, 11]. Из числа инфекционных поражений флокса в литературе описываются вирусные, микоплазменные (желтуха) и грибные болезни. Наиболее известные вирусные болезни – курчавость флокса (возбудитель – вирус некроза жилок флоксов), кольцевая пятнистость (вирус черной кольчатости томатов), некротическая пятнистость (вирус огуречной мозаики), морщинистость или курчавость листьев (вирус огуречной мозаики), погремковость (вирус курчавой полосатости табака), пестролепестность (вирус мозаики резухи).

Из грибных заболеваний у флоксов наиболее распространенными являются белая пятнистость листьев, или септориоз (возбудители – грибы рода

*Septoria*), мучнистая роса (*Erysiphe cichoracearum* D.C. *f. flogis* Jazh.), фомоз (*Phoma phlogis* (Roum.) Speg.). В сочетании с неблагоприятными погодными условиями могут быть опасны болезни увядания – фузариоз (виды *Fusarium*) и вертициллёз (*Verticillium albo-atrum* R. et B.).

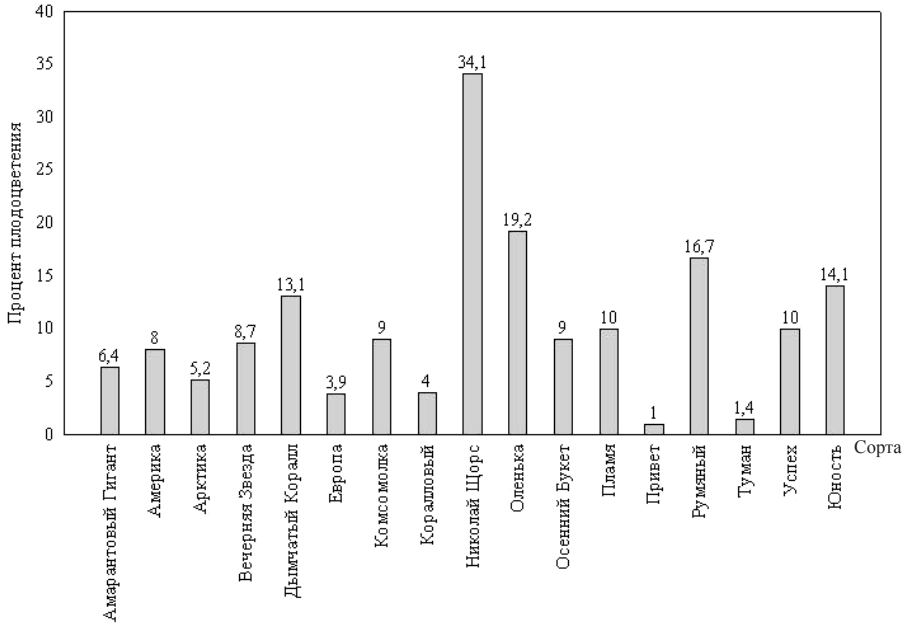



Рис. 3. Процент плодоцветения сортов флокса метельчатого на юге Томской области

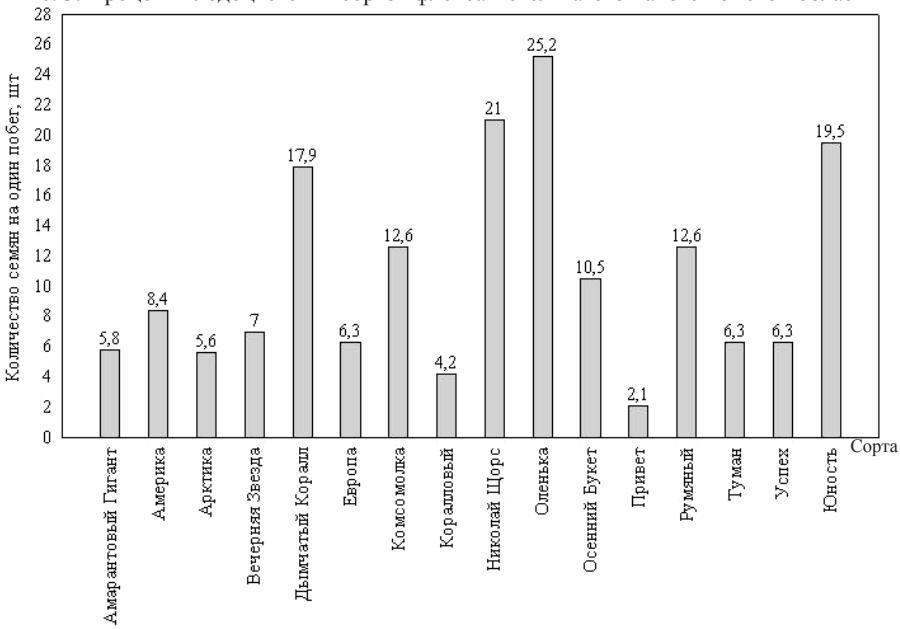



Рис. 4. Семенная продуктивность сортов флокса метельчатого на юге Томской области

Большинство находившихся под наблюдением сортов были поражены мучнистой росой, белой пятнистостью и усыханием нижних листьев. На соцветиях, кроме мучнистой росы и пятнистости, было отмечено появление серой гнили (возбудитель – *Botrytis cinerea* Pers.). Налёт спороношения *B. cinerea* чаще присутствовал на отмерших цветках и бутонах, реже – на цветоножках и самых верхних листьях. Кроме того, со стеблей увядающих растений после накопления во влажной камере были выделены грибы рода *Fusarium* (предположительно *Fusarium sporotrichioides* Sherb.).

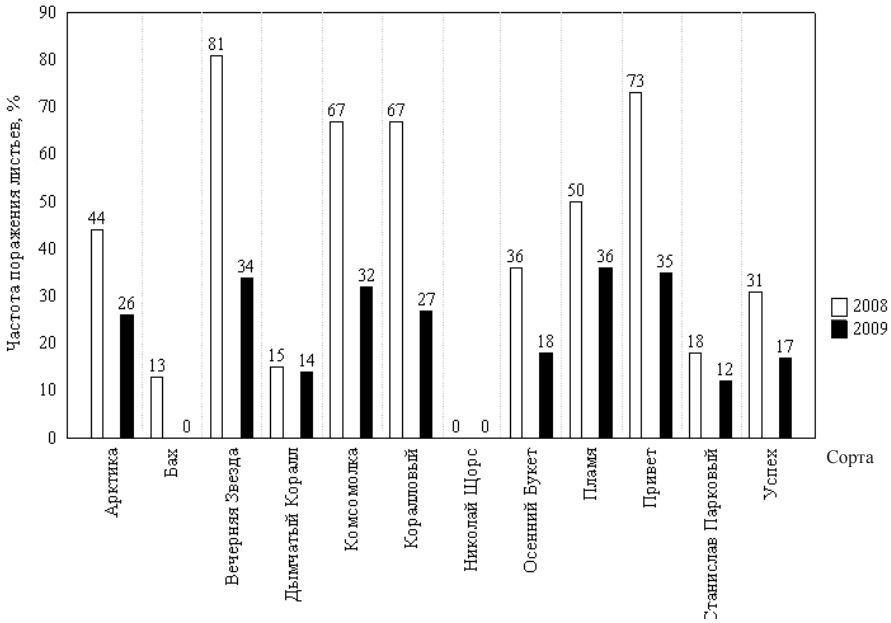



Рис. 5. Сравнительная поражаемость сортов флокса мучнистой росой в 2008 и 2009 гг.

Согласно литературным данным, белая пятнистость, или септориоз, – наиболее вредоносное и часто встречающееся заболевание флоксов. При поражении септориозом нарушается ассимиляция листьев, растения ослабевают, хуже цветут. Септориоз поражает как черенки в период их укоренения, так и взрослые растения большинства сортов. Также известно, что септориозу более подвержены сорта с розовой и малиново-красной окраской цветков, а белые флоксы страдают реже. Возбудителями белой пятнистости могут быть разные виды рода *Septoria*: чаще – *S. phlogis* Sacc. et Speg., реже – *S. divaricata* Ell. et Bv и *S. vogliana* Sacc. et Trott. В наших исследованиях возбудитель белой пятнистости был определён как *S. phlogis* [11, 12].

На экспериментальном участке СибБС, где флоксы каждого сорта выращивались на делянках в виде монокультуры, развитие септориоза было заметнее, чем на приоранжерейной территории, где флоксы росли более свободно, в виде ландшафтных композиций на газоне.

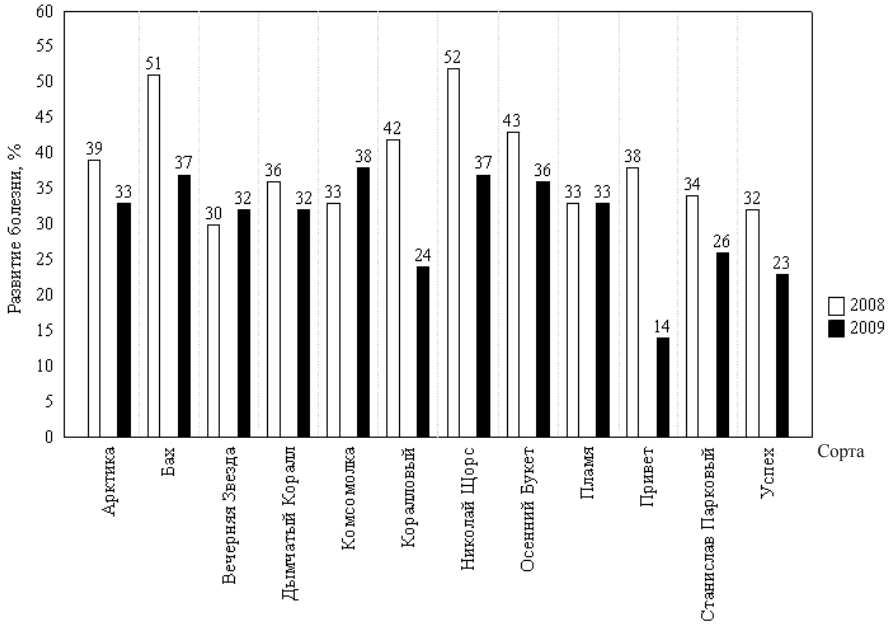



Рис. 6. Сравнительная поражаемость сортов флокса септориозом в 2008 и 2009 гг.

Признаки септориоза наблюдались на флоксах с самого начала вегетации. В середине июня на нижних листьях растений отмечалось появление мелких сероватых пятен округлой или неправильной формы. В дальнейшем пятна желтели и вокруг них возникала пурпурная или темно-фиолетовая кайма. Число пятен постепенно увеличивалось, они все больше сливались, а пораженные части листа отмирали. В середине пятен позже появлялись спороношения гриба (пикниды) в виде черных точек.

**Ранговая корреляция поражаемости листьев болезнями**

| Сопоставляемые значения | Количество сопоставляемых значений ($n$) | Коэффициент ранговой корреляции Спирмена ($r_s$) | Критические значения ($r_{st}$) коэффициента ранговой корреляции для уровня значимости 5% и объема выборки n |
|---|---|---|---|
| «Септориоз, 2008 г.» и «Септориоз, 2009 г.» | 12 | 0,346833 | 0,58 |
| «Септориоз, 2008 г.» и «Мучнистая роса, 2008 г.» | 17 | 0,005528 | 0,48 |
| «Септориоз, 2008 г.» и «Мучнистая роса, 2009 г.» | 12 | –0,52632 | 0,58 |
| «Септориоз, 2009 г.» и «Мучнистая роса, 2008 г.» | 12 | –0,33099 | 0,58 |
| «Септориоз, 2009 г.» и «Мучнистая роса, 2009 г.» | 12 | –0,26057 | 0,58 |
| «Мучнистая роса, 2008 г.» и «Мучнистая роса, 2009 г.» | **12** | **0,912281** | 0,58 |

Другая важнейшая болезнь – мучнистая роса – появляется на флоксах, по литературным данным, не ранее начала августа [10]. Как правило, сначала

на нижних, а потом и на верхних листьях образуется белый мучнистый налет в виде пятен, затем плотная серовато-белая пленка полностью покрывает все листья, стебли, зеленые части соцветий. В наших исследованиях массовое проявление заболевания было отмечено в сентябре.

Ввиду того, что при слабом спороношении выявить присутствие мучнистой росы в полевых учётах трудно, количественная оценка поражения флоксов мучнистой росой проводилась при лабораторном осмотре и микроскопии гербарных материалов, собранных на приоранжерейной территории СибБС.

Обработка данных с помощью метода ранговой корреляции Спирмена показала следующее:

1) такие показатели, как поражаемость сортов флокса септориозом и мучнистой росой, не связаны между собой;

2) относительная поражаемость сортов флокса септориозом на приоранжерейной территории в 2008 и 2009 гг. варьировала независимо от сорта;

3) отмеченные в 2008 г. сортовые различия в поражаемости флокса мучнистой росой подтвердились и в 2009 г., хотя уровень поражаемости большинства сортов был значительно ниже (см. рис. 5).

По-видимому, для выявления сортовой чувствительности флоксов к септориозу и мучнистой росе желательно проводить учёты поражаемости растений по каждой из инфекций в отдельности, и для получения достоверных данных требуются многолетние исследования.

Полевые наблюдения за развитием мучнистой росы на флоксах показали, что характер поражения сортов этой болезнью несколько различался. Например, у сортов *Америка* и *Амарантовый гигант* налет полностью покрывал растение, а на сорте *Белая пирамида* налет охватывал всё соцветие и верхние листья, но не распространялся на листья среднего и нижнего яруса. Менее восприимчивы к поражению мучнистой росой оказались сорта *Бах*, *Станислав парковый*, *Дымчатый коралл*, не поражался сорт *Николай Щорс*.

## Заключение

Таким образом, можно заключить, что в условиях Томска поражаемость флоксов мучнистой росой и септориозом в определённой мере зависит от сорта, и при подборе растений для озеленения необходимо учитывать чувствительность сорта к инфекционным болезням. Вместе с тем один и тот же сорт может быть в разной степени подвержен грибным болезням в разных условиях выращивания: при разреженной посадке кустов болезни развиваются меньше, чем при загущенном выращивании флоксов на делянках в виде монокультуры.

## *Литература*

1. *Дьякова Г.М.* Флоксы. М. : Кладезь-Букс, 2009. 96 с.
2. *Верещагина И.В.*, *Рубцова В., Чигаева А. и др.* Флоксы в Сибири. Новосибирск : Наука, 1969. 99 с.
3. *Константинова Е.В.* Флоксы. М. : Фитон+, 2002. 192 с.
4. *Методические* указания по семеноведению интродуцентов / под ред. акад. Н.В. Цицина. М. : Наука, 1980. 64 с.

5. *Николаева М.Г.*, *Лянгузова И.В., Поздова Л.М.* Биология семян. СПб. : Изд-во НИИ химии СпбГУ, 1999. 232 с.
6. *Эрдтман Г.* Морфология пыльцы и систематика растений (введение в палинологию). 1. Покрытосеменные. М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1956. 486 с.
7. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений. М. : Колос, 1980. 304 с.
8. *Голубинский И.Н.* Биология прорастания пыльцы. Киев : Наукова Думка, 1974. 368 с.
9. *Чумаков А.Е.*, *Минкевич И.И. и др.* Основные методы фитопатологических исследований. М. : Колос, 1974. 191 с.
10. *Миловидова Л.С.*, *Соколовская Т.В., Коровина Н.В.* Некоторые болезни цветочных растений в Томске // Бюллетень Сибирского ботанического сада. 1978. № 10. С. 75–78.
11. *Пидопличко Н.М.* Грибы-паразиты культурных растений. Определитель : в 3 т. Киев : Наукова Думка, 1977.
12. *Тетерникова-Бабаян Д.Н.* Грибы рода Септория в СССР. Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1987. 479 с.

*Поступила в редакцию 15.05.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 68–76***

doi: 10.17223/19988591/20/6

**Tatyana N. Belyaeva[1], Alina N. Butenkova[2], Yuriy A. Chikin[2], Oksana A. Gaivoronskikh[2]**

*[1]Siberian Botanical Garden of Tomsk State University, Tomsk, Russia*
*[2]Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## COMPARATIVE ESTIMATION OF PHLOX SORTS (*Phlox* L.) IN CULTURE IN THE SOUTH OF TOMSK REGION

*This research was carried out in open ground of a subgreen-house and experimental plots of Siberian botanical garden of Tomsk State University in 2007–2009. Comparing phlox sorts by flower diameter revealed a low level of variability within every variety. Average flower diameter indices of different varieties range significantly: from 2.8 to 4.6 cm. The variability within the variety of this feature is unessential, but intervarietal variability prevails. It was determined that high indices of pollen fertility (80–100%) were noticed at the majority of garden phloxes varieties, except for 'Nikolay Schors' (14%), 'Yunost' (26%), etc. Maximal germination of pollen was, mainly, noticed on agar solution (1%) with the highest sugar content (30%). The pollen of 'Tuman', 'Stanislav Parkovyi' and 'Olenka' garden phlox varieties is the most viable. The pollen of 'Sneszhok', 'Panama' and 'Arctica' is practically unviable. It was revealed that in the conditions of introduction in the south of Tomsk oblast such phlox varieties as 'Festivalnyi' and 'Schneepyramide'almost do not bear fruit.. Seed productivity of other varieties fluctuated within the limits from 1.8 to 25.2 seeds per sprout. Most varieties under study were stricken by powdery mildew, white spotting, lower leaves damage (fusarios (Fusarium species) and verticillesus (Verticillium albo-atrum R. et B.)). Grey mould (cause of disease – Botrytis cinerea Pers.), such as powdery mildew and white spotting was found on inflorescence. Spore-fruits of B. cinerea are found on post-blooming flowers and buds, rarely on flower-stalk and the upper leaves. In our investigations the cause of white spotting was determined as Septoria phlogis Sacc. et Speg. The signs of white spotting were observed on phloxes from the beginning of vegetation, progressively increasing by a blooming period, mass occurence of powdery mildew was noted in September. Field observations of powdery mildew development on phloxes pointed out that the character of variety affection by this disease was slightly different. In Tomsk conditions phlox affection by powdery mildew and white spotting depends on a variety. Each variety sensibility to infectious diseases is to be taken into account during plant selection for the purpose of landscape gardening. Furthermore, the same variety may be subjected to fungi diseases in a different degree in different growing conditions: disease development is lower in conditions of thin clump planting, than in dense phlox growing in monoculture beds.*

**Key words:** *phlox; pollen fertilize; pollen viability; seed productivity; mildew diseases.*

*Received May 15, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 77–92*

УДК 582.28.581.5
doi: 10.17223/19988591/20/7

**И.А. Горбунова, Е.Г. Зибзеев**

*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск)*

# ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОЯСНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКРОМИЦЕТОВ ИВАНОВСКОГО ХРЕБТА (РУДНЫЙ АЛТАЙ)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-04-01025-а).

*Изучена июльская биота макромицетов Ивановского хребта (Рудный Алтай). Обследованы различные растительные сообщества лесного и высокогорного поясов, где проведены геоботанические описания, собрана коллекция сумчатых и базидиальных макромицетов. Для каждого вида отмечены частота встречаемости и эколого-трофическая группа. В результате исследований выявлено 3 вида сумчатых грибов, 100 видов и две вариации базидиомицетов, из них 16 видов являются новыми для Алтая. Большинство (72 вида) макромицетов обнаружены в лесном поясе, 30 – в субальпийском, 18 – в горно-тундровом поясе. Наибольшее видовое разнообразие макромицетов наблюдалось в кедрово-лиственнично-пихтовых травяных лесах (56,3% всех видов). В трофическом спектре лесной микобиоты около 62% составляли ксилотрофы, на долю микоризообразователей и подстилочных сапротрофов приходилось 22,4% лесных видов. В субальпийском поясе лидировали ксилотрофы, среди субальпийского высокотравья доминировали герботрофы, в мохово-осоковых болотах зафиксировано довольно богатое видовое разнообразие и обильное плодоношение бриотрофов. В тундровом поясе 44% выявленных видов относились к альпийскому элементу. Среди эколого-трофических групп основная ценотическая роль в тундрах принадлежала микоризообразователям и гумусовым сапротрофам. Наибольшее число видов обнаружено в дриадовых тундрах и сиббальдиевых альпийских лугах.*

**Ключевые слова***: макромицеты; аскомицеты; базидиомицеты; микобиота; Ивановский хребет; Рудный Алтай.*

## Введение

Микобиота Алтая не является «белым пятном» в микологическом отношении, однако многие его горные массивы исследованы эпизодически либо не изучены совсем. Сведения о базидиальных макромицетах Рудного Алтая вошли в VI и XIII тома Флоры споровых растений Казахстана [1–3]. В последние годы микологами Казахстана возобновились исследования микобиоты Казахского Алтая [4. С. 162–165]. Однако публикаций о макромицетах Ивановского хребта в литературе не обнаружено. Кроме того, изучение эколого-ценотических особенностей и поясного распределения макромицетов на территории Алтае-Саянского региона по-прежнему актуально.

Целью данной работы являлось дальнейшее изучение макромицетов Алтая, их экологии, ценотической приуроченности и поясного распределения в районе Ивановского хребта (Рудный Алтай) Восточно-Казахстанской области.

## Материалы и методики исследования

В статье представлен материал, полученный в результате экспедиционных исследований растительности и биоты макромицетов лесного, субальпийского и горно-тундрового поясов Ивановского хребта в июле 2008 г. Точки сбора микологической коллекции указаны на карте (рис. 1).

Ивановский хребет (рис. 1) представляет собой обширное горное образование с абсолютными высотами от 900 до 2 775 м над ур. м. В структуре исследованной части Ивановского хребта выделяют отдельные геоморфологические блоки – хребты Проходной и Россыпной Белки. Они сложены сланцами и известняками, прорванными интрузиями. Речная сеть густая, со склонов берут начало многочисленные ручьи, питающие притоки Иртыша (рр. Быструха, Громотуха, Марчиха, Кедровка, Ульба).

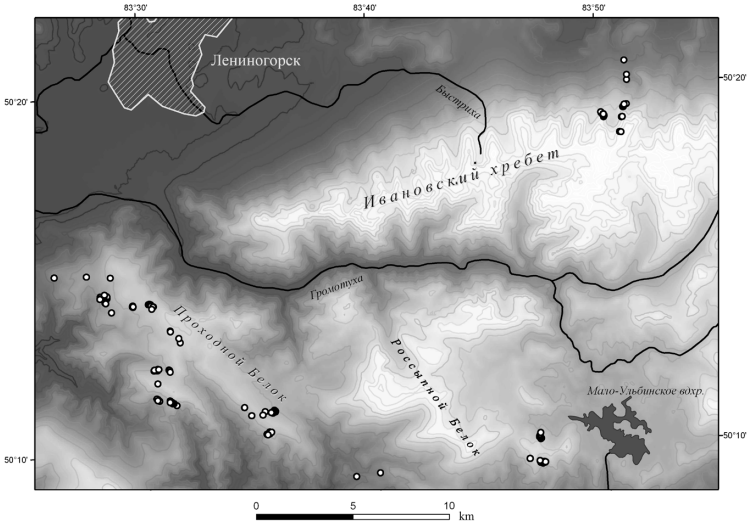



Рис. 1. Места сборов макромицетов и геоботанических описаний на территории Ивановского хребта

Климат района континентальный. В высокогорной части Проходного Белка годовое количество осадков в среднем составляет 1 090 мм в год, в районе Мало-Ульбинского водохранилища и на северном склоне Ивановского хребта в среднем за год выпадает до 1 516 мм, в районе Риддера – до 630 мм.

Особенности географического положения и орографии позволили на данной территории сформироваться уникальному комплексу растительности с довольно высоким уровнем флористического и ценотического разнообразия.

Согласно классификации высотной поясности Алтае-Саянской горной области В.П. Седельникова [5], для данного района характерен гумидный горно-тундрово-субальпинотипно-темнохвойно-таежный тип. В ряду высотной поясности прослеживаются три пояса: степной, лесной и высокогорный.

Степной пояс выражен фрагментарно, представлен в высотном диапазоне 900–1 100 м над ур. м. Лесной пояс занимает от 1 100 до 1 600 м над ур. м. В нижней его части распространены смешанные травянистые леса из *Abies sibirica, Betula pendula* и *Populus tremula*. Верхняя часть лесного пояса (начиная с 1 300 м над ур. м.) образована темнохвойными травяными лесами с преобладанием в древесном ярусе *Abies sibirica, Pinus sibirica* и *Larix sibirica*. В вертикальной структуре высокогорной растительности четко выражены два пояса – субальпийский и горно-тундровый. Субальпийский пояс простирается в высотном диапазоне от 1 500 до 1 800 м над ур. м., представлен двумя подпоясами: высокотравно-лесо-луговым и кустарниково-луговым. Выше 1800 м над ур. м. формируются растительные сообщества горно-тундрового пояса.

При сборе и гербаризации плодовых тел использовалась стандартная методика [6]. Определение видовой принадлежности грибов проводилось в лаборатории ЦСБС СО РАН с использованием современной отечественной и зарубежной литературы. Для ценотической характеристики грибов (субстратной приуроченности и распространению в пределах экотопа) были использованы шкала трофических групп А.Е. Коваленко [7. С. 300–314] и шкала обилия Гааса [8. С. 123]. Геоботанические описания выполнялись по общепринятой методике [9]. Список сосудистых растений дан по С.К. Черепанову [10], мхов – по М.С. Игнатову и О.М. Афониной [11], лишайников – по Н.В. Седельниковой [12].

Выявленные виды макромицетов представлены в таблице в алфавитном порядке, названия грибов принимаются согласно Index Fungorum (www.indexfungorum.org). Новые для Алтая виды отмечены звездочкой, редкие, занесенные в Красную книгу Республики Алтай [13. С. 209–233], – восклицательным знаком. Коллекция грибов хранится в гербарии лаборатории низших растений ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск).

## Результаты исследования и обсуждение

В результате исследований микобиоты Ивановского хребта выявлены 103 вида и 2 вариации сумчатых и базидиальных макромицетов (таблица), из которых около 70% обнаружено в лесном поясе.

**Экологические особенности, ценотическая приуроченность и поясное распределение макромицетов Ивановского хребта (Рудный Алтай)**

| Вид | Тг | Пояс | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Лесной | | | | Субальпийский | | | | | | | Горно-тундровый | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| **ASCOMYCOTA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Botryotinia calthae* Hennebert et M.E. Elliott | He | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| *Hymenoscyphus scutula* (Pers.) W. Phillips | He | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | |
| *Scutellinia scutellata* (L.) Lambotte | Le | | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| **BASIDIOMYCOTA** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Agaricus kuehnerianus* Heinem. | Hu | | | | 1 | | | | 1 | | 1 | | | 3 | 2 | | 4 | | |
| *Agrocybe praecox* (Pers.) Fayod | St | | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| *Amanita fulva* (Schaeff.) Fr. | Mr | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *A. nivalis* Grev. | Mr | | | | | | | | | | | | | | | + | | | |
| **A. submembranacea* (Bon) Gröger | Mr | | | | + | | | | | | | | | | | | | | + |
| *Amanita* sp. | Mr | | | | | | | | | | | | | | | + | | | |
| *Boletus subtomentosus* L. | Mr | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Bovista nigrescens* Pers. | Hu | | | | | | | | | | | 1 | | 2 | 2 | | 2 | | |
| *B. pusilla* (Batsch) Pers. | Hu | | | | 1 | | | | | | | | | | 2 | | | | |
| *Calvatia cretacea* (Berk.) Lloyd | Hu | | | | | | | | | | | | | | | | + | | |
| *Chroogomphus tomentosus* (Murrill) O.K. Mill. | Mr | | | | | | | | + | | | | | | | | | | |
| **Clitocybe bresadolana* Singer | Hu | | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| *C. squamulosa* (Pers.) Fr. | Hu | | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| *Conocybe rickeniana* P.D. Orton | Hu | | | | | | | | | | | | | | + | | | | |
| *Coprinus micaceus* (Bull.) Fr. | Le | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Cortinarius trivialis* J.E. Lange | Mr | | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| *Crepidotus mollis* (Schaeff.) Staude | Le | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Crinipellis scabella* (Alb. et Schwein.) Murrill | St | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Cystodermella cinnabarina* (Alb. et Schwein.) Harmaja | St | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Entoloma conferendum* var. *conferendum* (Britzelm.) Noordel. | Hu | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *E.* sp. | St | + | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Flammulaster muricatus* (Fr.) Watling | Le | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Galerina arctica* (Singer) Nezdojm. | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | + |
| *G. atkinsoniana* A.H. Sm | Le | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *G. evelata* (Singer) A.H. Sm. et Singer | Le | | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *G. hypnorum* (Schrank) Kühner | Le | | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *G. mniophila* (Lasch) Kühner | Le | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *G. vittiformis* (Fr.) Earle | M | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | 2 |
| *!Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. | Le | + | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *!Grifola frondosa* (Dicks.) Gray | P | | | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| **Gymnopus aquosus* (Bull.) Antonín et Noordel. | St | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Hebeloma circinans* (Quél.) Sacc. | Mr | | | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| *H. mesophaeum* (Pers.) Quél. | Mr | | | | | | | | | | | | | | | 5 | | | |
| **Hemimycena pseudocrispula* (Kühner) Singer | He | | | | | | | | 2 | | | 4 | | | | | | | |
| *Hydropus atramentosus* (Kalchbr.) Kotl. et Pouzar | Le | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *H. marginellus* (Pers.) Singer | Le | | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Hygrocybe coccineocrenata* (P.D. Orton) M.M. Moser | M | | | | | | | | | | | | + | | | | | | |
| *Hypholoma elongatum* (Pers.) Ricken | M | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | |
| *H. fasciculare* var. *fasciculare* (Huds.) P. Kumm. | Le | 3 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Inocybe asterospora* Quél. | Mr | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *I. lacera* var. *lacera* (Fr.) P. Kumm. | Mr | | | | | | + | | | | | | | | | | | | |
| *I. maculata* Boud. | Mr | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | |
| *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orton | Mr | | | | | | | | | | | | | | | + | | | |

Продолжение таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *L. tortilis* (Bolton) Cooke | Mr | | | | | | | | | | | | | | | + | | | |
| *Lactarius subdulcis* (Pers.) Gray | Mr | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill | P | | | | | | | | | | + | | | | | | | | |
| *Laricifomes officinalis* (Vill.) Kotl. et Pouzar | P | | | | 2 | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | |
| *Leccinum aurantiacum* (Bull.) Gray | Mr | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Lentinellus micheneri* (Berk. ye M.A. Curtis) Pegler | Le | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| *Lentinus cyathiformis* (Schaeff.) Bres. | Le | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *L. strigosus* (Schwein.) Fr. | Le | 4 | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *Lepista flaccida* (Sowerby) Pat. | Hu | | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Lycoperdon niveum* Kreisel | Hu | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | |
| *L.* sp. | Hu | | | | | | | | | | | | | | | + | | | |
| *Marasmius androsaceus* (L.) Fr. | St | | 4 | | 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| **M. epidryas* Kühner | St | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | |
| *Mycena amicta* (Fr.) Quél. | Le | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. cinerella* (P. Karst.) P. Karst. | St | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. citrinomarginata* Gillet | Le | | 2 | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| **M. cyanorrhiza* Quél. | Le | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. epipterygia* (Scop.) Gray | Le | | 1 | | 3 | | | | 2 | | | | | | | | | | |
| **M. epipterygia* var. *pelliculosa* (Fr.) Maas Geest. | Le | | | | 2 | | 2 | | | | + | | | | | | | | |
| *M. filopes* (Bull.) P. Kumm. | St | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| **M. flos-nivium* Kühner | Le | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | |
| *M. galericulata* (Scop.) Gray | Le | | | | 2 | | | | | 2 | | | | | | | | | |
| *M. haematopus* (Pers.) P. Kumm. | Le | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. laevigata* (Lasch) Gillet | Le | | 3 | | 3 | | 2 | | | 2 | | | | | | | | | |
| *M. leptocephala* (Pers.) Gillet | Le | | + | | + | | | | | | | | | | | | | | |
| **M. oregonensis* A. H. Sm. | Le | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. rorida* (Scop.) Quél | Le | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *M. rubromarginata* (Fr.) P. Kumm. | Le | | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| *M. tintinnabulum* (Fr.) Quél. | Le | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **M. viridimarginata* P. Karst. | Le | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| *Neolentinus lepideus* (Fr.) Redhead et Ginns | Le | | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | |
| *Panellus stipticus* (Bull.) P. Karst. | Le | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Phaeomarasmius erinaceus* (Pers.) Scherff. ex Romagn. | Le | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat. | P | | | | 4 | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| *Pholiota highlandensis* (Peck) A.H. Sm. et Hesler | C | | | | | | | | | + | | | | | | | | | |
| *Ph. spumosa* (Fr.) Singer | St | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. | Le | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Pleurotus calyptratus* (Lindblad) Sacc. | Le | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Pluteus cervinus* (Schaeff.) P. Kumm. | Le | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **P. exiguus* (Pat.) Sacc. | Le | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *P. salicinus* (Pers.) P. Kumm. | Le | | | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| *Polyporus ciliatus* Fr. | Le | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *P. brumalis* (Pers.) Fr. | Le | | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Psathyrella phegophila* Romagn | Le | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Psilocybe montana* (Pers.) P. Kumm. | Hu | | | | | | 2 | 2 | | + | | | | | 2 | | | 2 | 2 |
| *P. phyllogena* (Peck) Peck | M | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| *Pycnoporus cinnabarinus* (Jacq.) P. Karst. | Le | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Rickenella fibula* (Bull.) Raithelh. | M | | | 1 | | | | | | + | + | 1 | 2 | | + | | | | |
| **R. fibula* var. *hydrina* (Fr.) Krieglst. | M | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| *Russula nana* Killerm. | Mr | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| *Russula* sp. | Mr | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Suillus clintonianus* (Peck) Kuntze | Mr | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| *S. grevillei* (Klotzsch) Singer | Mr | | 3 | | 3 | | | | 1 | + | 1 | | | | | | | | |
| *S. placidus* (Bonord.) Singer | Mr | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 1 |

Окончание таблицы

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Thelephora terrestris* Ehrh. | Le | | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd | Le | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *T. versicolor* (L.) Lloyd | Le | 1 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Tricholomopsis decora* (Fr.) Singer | Le | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *Xeromphalina campanella* (Batsch) Maire | Le | | 3 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | |

*Примечание.* Тг – Трофическая группа: Hu – гумусовые сапротрофы; Le – сапротрофы на древесине; St – подстилочные сапротрофы; He – герботрофы; C – карботрофы; M – бриотрофы; Mr – микоризообразователи; P – паразиты. Сообщества: *1* – смешанные травяные леса; *2* – кедрово-лиственнично-пихтовые и кедрово-пихтово-лиственничные травяные леса; *3* – лиственнично-пихтовый травяной лес; *4* – кедрово-лиственничный разнотравный лес на границе лесного пояса; *5* – березово-ивово-осиновые пойменные сообщества; *6* – мохово-ерниково-кедрово-лиственничные редколесья; *7* – кедрово-лиственнично-лишайниковые редколесья; *8* – кедровые и кедрово-лиственничные высокотравные редколесья; *9* – душистоколосковые лиственничные редколесья; *10* – лиственничное редколесье с высокотравьем; *11* – субальпийское высокотравье; *12* – мохово-осоковые болота; *13* – душисто-колосковые альпийские луга; *14* – сиббальдиевые альпийские луга; *15* – дриадовые тундры; *16* – овсяницевые тундры; *17* – бадановые пустоши; *18* – зарастающие останцы и каменистые выходы.

В нижней части лесного пояса Ивановского хребта лидирующее положение занимают смешанные травяные леса. Древостой разновозрастный, образован *Abies sibirica, Betula pendula* и *Pinus sibirica*, реже встречаются *Larix sibirica, Picea obovata* и *Populus tremula*. Кустарниковый ярус разрежен, в различных соотношениях образован *Lonicera altaica, Padus avium, Ribes atropurpureum, Sorbus sibirica* и *Spiraea media*. Травяно-кустарничковый ярус занимает от 40 до 60% от общего проективного покрытия, представлен *Aconitum septentrionale, Calamagrostis langsdorfii, Carex macraura, Geranium albiflorum, Lathyrus gmelinii, Linnaea borealis, Poa sibirica, Saussurea latifolia, Solidago dahurica, Vaccinium vitis-idaea* и др. Видовой состав макромицетов данных лесов очень беден. Высокое проективное покрытие травянистого яруса и задернованность почв не благоприятствуют развитию грибов. Практически все выявленные виды развиваются на валежной древесине.

Широкое распространение в лесном поясе Рудного Алтая имеют кедрово-лиственнично-пихтовые, кедрово-лиственничные и лиственнично-пихтовые травяные леса. Древесный ярус образован *Abies sibirica, Larix sibirica, Picea obovata* и *Pinus sibirica*. По видовому составу это достаточно однородные сообщества. Они отличаются по характеру увлажнения и высотной приуроченности. Кедрово-лиственнично-пихтовые леса приурочены к средней и нижней части лесного пояса. В ряду увлажнения представляют собой наиболее влажный вариант сообществ. Кедрово-лиственничные и лиственнично-пихтовые леса приурочены, главным образом, к средней и верхней части лесного пояса. Увлажнение умеренное, периодическое. Травянисто-кустарничковый ярус образован *Aconitum septentrionale, Aegopodium alpestre, Anthoxanthum alpinum, Calamagrostis obtusata, Galium boreale, Geranium albiflorum, Millium effusum, Poa sibirica, Ranunculus grandifolius, Saussurea latifolia*. Моховой покров занимает 20–35% от общего проективного покрытия, представлен *Polytrichum commune* и *Pleurozium schreberi*. В кедрово-лиственнично-пихтовых травяных лесах обнаружено более половины (56,3%) всех выявленных видов грибов. Ценотическая роль макромицетов возрастает в верхней и средней частях лесного пояса. Высокая влажность, достаточно разреженный и невысокий травяной покров, обилие субстрата благоприятствуют развитию грибов в данных ценозах. В трофическом спектре лесной микобиоты около 62% составляют ксилотрофы. На долю микоризообразователей и подстилочных сапротрофов приходится только 22,4% лесных видов, что характерно для старовозрастных черневых и темнохвойных горных лесов. На верхней границе лесного пояса наиболее часто встречались различные виды *Galerina* и *Mycena*, среди которых доминировали *M. epipterygia, M. laevigata,* редкий в равнинных лесах юга Западной Сибири вид *M. cyanorhiza* [14. С. 515] и новый для Алтая *M. oregonensis*, известный в Северной Америке и Европе [15. С. 446–449], а также в России – на Урале, где обнаружен на валеже и еловых шишках [16. С. 47, 17. С. 33]. В исследуемом районе многочисленные плодовые тела *M. oregonensis* росли исключи-

тельно на лиственничных шишках, погруженных в подстилку. В средней и нижней частях лесного пояса видовой состав грибов заметно менялся. Роль доминантов переходила к подстилочным сапротрофам *Crinipellis scabella*, *Gymnopus aquosus, Pholiota spumosa* и *Marasmius androsaceus.* Среди дереворазрушающих видов часто встречались *Hydropus marginellus, Galerina hypnorum, Mycena tintinnabulum* и *Xeromphalina campanella.* Плодоношение большинства лесных макромицетов было необильным.

Лиственнично-пихтовые травяные леса на южном макросклоне Ивановского хребта оказались значительно беднее в микологическом отношении (17 видов). Группу доминантов среди макромицетов составляли дереворазрушающие трутовые грибы. Ценотическое участие агариковых грибов было незначительным.

По берегам многочисленных ручьев и небольших речек формируются березово-ивово-осиновые заросли. Местообитания данных сообществ характеризуются повышенным увлажнением, периодическим подтоплением за счет дождевых и осенне-весенних паводков. Древостой разрежен, представлен *Betula pendula* и *Populus tremula*. Много замшелого валежа, находящегося на разной стадии разложения. Подлесок густой, представлен *Ribes nigrum, Salix dasyclados, S. viminalis* и др. Травянистый ярус разрежен, состоит из *Caltha palustris, Calamagrostis langsdorffii, Hesperis sibirica, Filipendula ulmaria* и др. Пойменные растительные сообщества населяют широко распространенные на Алтае лесные виды грибов – *Galerina*, *Cortinarius trivialis, Lentinellus micheneri, Phaeomarasmius erinaceus*.

В субальпийском поясе выявлено 30 видов макромицетов. В нижней и средней частях субальпийского пояса широко представлены мохово-ерниково-кедрово-лиственничные, кедрово-лиственнично-лишайниковые, а также кедровые, лиственничные и кедрово-лиственничные высокотравные редколесья. Все они отличаются по характеру древостоя, выраженности подлеска, а также по количеству увлажнения.

Мохово-ерниково-кедрово-лиственничные редколесья формируются в условиях достаточного или повышенного увлажнения, по вогнутым участкам склонов, по берегам рек и ручьев. Вертикальная структура трехъярусная. Кустарниковый ярус образован *Betula rotundifolia* и *Salix glauca*. Травяно-кустарничковый ярус не выражен, мохово-лишайниковый – занимает до 45% от проективного покрытия. В данных растительных сообществах обнаружено 10 видов макромицетов, большинство из которых – сапротрофы. По всему субальпийскому поясу на свежих пнях, валеже, сухостое кедра и лиственниц встречался дереворазрушающий гриб *Neolentinus lepideus*. В наиболее влажных местообитаниях были отмечены обычные для высокогорий Алтая арктоальпийские виды *Russula nana* и *Lycoperdon niveum*. Обильным плодоношением отличался только *Marasmius androsaceus* (L.) Fr.

На южных и юго-восточных склонах, по выпуклым элементам рельефа, в условиях относительного дефицита влаги формируются кедрово-листвен-

нично-лишайниковые сообщества. Почва каменистая. Из-за более экстремальных условий происходит редукция как травяно-кустарничкового, так и кустарникового ярусов. Мохово-лишайниковый ярус занимает до 70% площади ценоза, образован кустистыми лишайниками: *Cetraria islandica, Cladonia arbuscula* ssp. *arbuscula, Cladonia arbuscula* ssp. *mitis, C. macroceras, C. phyllophora* и др. Грибы здесь практически не встречаются. Отмечены лишь плодовые тела *Psilocybe montana*, способного развиваться на бедных субстратах, и *Neolentinus lepideus.*

В редколесьях с выраженным травянистым ярусом, формирующихся в наиболее благоприятных условиях на пологих слонах на горно-луговых почвах, где кустарниковый и мохово-лишайниковый ярусы отсутствуют, травяно-кустарничковый ярус образован представителями субальпийских лугов и высокотравья, отмечено 9 видов макромицетов. Треть видов являются микоризными симбионтами лиственницы и кедра – *Suillus grevillei*, *S. placidus, Chroogomphus tomentosus.* Их роль в минеральном питании древесных растений в данных условиях очень важна. На усыхающих лиственницах обнаружены единичные плодовые тела *Laricifomes officinalis*, на корнях ослабленных кедров паразитировал *Phaeolus schweinitzii.* Обильным плодоношением в данных растительных сообществах отличался только герботроф *Hemimycena pseudocrispula*, поселяющийся на прошлогодних стеблях субальпийских трав.

Душистоколосковые лиственничные редколесья характерны для центральной части Ивановского хребта. Формируются на стыке субальпийского и горно-тундрового поясов (1 700–1 800 м над ур. м.) по склонам различной экспозиции и крутизны. Почвы горно-луговые альпийские дерновые щебнистые. Древостой разрежен, образован *Larix sibirica*. Кустарниковый ярус не развит. Травянисто-кустарничковый занимает 55–75%, образован *Anthoxanthum alpinum*, *Aconogonon alpinum, Carex aterrima, Dracocephalum grandiflorum, Geranium albiflorum, Festuca kryloviana, Hedysarum theinum, Luzula sibirica* и др. Биота макромицетов данных сообществ бедна. Возможно, это связано с засушливым периодом на момент исследований. Отмечено только 8 видов грибов, из них относительно часто встречался *Laricifomes officinalis,* его крупные плодовые тела развивались на старых и усыхающих лиственницах. Среди трофических групп лидировали ксилотрофы (*Mycena* и *Galerina*). Впервые в высокогорном поясе Алтая на старом кострище обнаружен карботроф *Pholiota highlandensis.* Способность данного вида к плодоношению при низкой температуре наблюдалась также при изучении весенней микобиоты Алтая.

Среди субальпийского высокотравья широко представлены полидоминантные горькушевые и левзеевые сообщества. Они формируются по склонам различной экспозиции и крутизны. Почва субальпийская горно-луговая, в первый период вегетации покрыта слоем из прошлогодних остатков растений. Первый ярус высотой 130–160 см образован *Aconitum septentrionale,*

*Bupleurum longifolium, Calamagrostis langsdorffii, Delphinium elatum, Poa sibirica, Saussurea latifolia, Stemmacantha carthamoides, Veratrum lobelianum,* второй – 50–70 см – *Aquilegia glandulosa, Carex aterrima, Crepis lyrata, Euphorbia pilosa, Geranium albiflorum, Ranunculus grandifolius, Tanacetum boreale.* Особенностью высокотравных сообществ является способность поддерживать определенный микроклимат, а именно более высокую влажность, по сравнению с окружающей средой, и температуру, благодаря чему создаются благоприятные условия для развития грибов-герботрофов. Обильное плодоношение сумчатых грибов, в том числе *Hymenoscyphus scutula* и базидиомицета *Hemimycena pseudocrispula,* способствует быстрому разложению отмерших побегов многолетних субальпийских трав.

Мохово-осоковые болота на территории Ивановского хребта больших площадей не занимают. Формируются в средней и нижней частях субальпийского пояса по берегам рек и ручьев в условиях постоянного подтопления. Основной материал был собран на болотном комплексе северного склона Проходного Белка на высоте 1 676 м над ур. м., крутизна склона 0–3°. Рельеф кочковатый. Общее проективное покрытие 95–100%. Травяно-кустарничковый ярус занимает до 90% площади ценоза. Доминирует *Carex altaica* (45–60%), с высоким постоянством присутствуют *Allium schoenoprasum, Carex brunnescens, C. paupercula, Comarum palustre, Eriophorum polystachyon, Juncus filiformis, Swertia obtusa*. Моховой покров составляет 95%, представлен *Aulacomnium palustre, Sphagnum subsecundum, S. teres, Warnstorfia exannulata* и др. Макромицеты, собранные на высокогорном болоте, оказались типичными видами для заболоченных местообитаний. Трофический спектр выявленной микобиоты составили исключительно бриотрофы. Ценотическое преимущество в июле имели *Botryotinia calthae*, *Galerina vittiformis*, *Hypholoma elongatum*.

В горно-тундровом поясе обнаружено 18 видов макромицетов, из них большинство (44%) характерны для альпийских ландшафтов, 5 видов имеют широкое распространение в Голарктике, 5 видов относятся к бореальному элементу. Среди эколого-трофических групп основная ценотическая роль в горно-тундровом поясе принадлежит микоризообразователям и гумусовым сапротрофам. Наибольшее число видов обнаружено в дриадовых тундрах и сиббальдиевых альпийских лугах.

Сиббальдиевые альпийские луга встречаются по молодым и старым гольцовым террасам в нижней части горно-тундрового пояса (1 900–2 000 м над ур. м.). Как правило, данные сообщества предпочитают выровненные участки склонов. В первый период вегетации сиббальдиевые луга находятся в условиях подточного увлажнения. Почвы горно-тундровые луговые с элементами оторфованности, каменистые. Общее проективное покрытие 70–80%. Травяно-кустарничковый ярус образован в первом подъярусе – *Anthoxanthum alpinum, Aquilegia glandulosa, Bistorta major, Carex aterrima, Phleum alpinum, Schulzia crinita*, во втором – доминантом сообщества *Sibbaldia*

*procumbens*. Мохово-лишайниковый ярус не выражен. Наиболее характерными обитателями данных растительных сообществ являются обычный для высокогорных ландшафтов вид *Bovista nigrescens* и ранее не известный на Алтае *Agaricus kuehnerianus*, указанный С.П. Вассером [18. С. 141–142] для Горного Крыма. Местообитания *Agaricus kuehnerianus* на Кавказе и в Рудном Алтае аналогичны. Обильное плодоношение *Agaricus kuehnerianus* отмечено в овсянницевых тундрах, которые являются фоновой растительностью горно-тундрового пояса Ивановского хребта. В субальпийском поясе данный вид встречается редко, обычно у дорог или на краю леса.

Сообщества с доминированием *Festuca kryloviana* формируются по вершинам хребтов и по склонам различной экспозиции и крутизны. Почва горно-тундровая дерново-перегнойная щебнистая. Травяно-кустарничковый ярус представлен *Festuca kryloviana, Bistorta vivipara, Carex ledebouriana, Gentiana grandiflora, Lloydia serotina, Pachypleurum alpinum, Sajanella monstrosa* и др. Лишайники *Cetraria islandica, Cladonia arbuscula, C. rangiferina, C. stellaris, Flavacetraria cuculata, Thamnolia vermicularis* сомкнутого яруса не образуют. Здесь обнаружен арктоальпийский вид *Calvatia cretacea*, встречающийся в горах Европы, на Урале, на севере и юге Западной Сибири [19–21].

Дриадовые тундры широко распространены на северном макросклоне Ивановского хребта, в то время как на Проходном хребте они встречаются довольно редко по склонам различной крутизны, в высотном диапазоне 1830–2050 м над ур. м. Почва горно-тундровая, перегнойная щебнистая. В зависимости от каменистости почвы проективное покрытие изменяется от 70 до 100%, на *Dryas oxyodonta* приходится 70–90%. Первый подъярус образован *Bistorta vivipara, Gentiana algida, Hierochloe alpina, Lloydia serotina, Patrinia sibirica, Pedicularis oederi, Schulzia crinita, Silene chamarensis*, второй – шпалерными кустарничками *Dryas oxyodonta* с незначительным участием *Salix turczaninowii*. Ценотическая роль грибов в дриадах Проходного Белка возрастает. Макромицеты довольно густо населяют данные растительные сообщества. Обилие плодовых тел шляпочных грибов в дриадовых тундрах самое высокое в горно-тундровом поясе Ивановского хребта. Трофический спектр микобиоты дриад представлен исключительно микоризными видами, вступающими в симбиоз с альпийскими кустарничками. Данный симбиоз способствует устойчивому развитию растений и грибов. Из семи выявленных видов аспект дриад составили *Inocybe maculata* и *Hebeloma mesophaeum*.

В горно-тундровом поясе грибы обнаружены в зарослях можжевельника (*Juniperus pseudosabina, J. sibirica*). Несколько видов собраны в растительных группировках каменистых россыпей, останцов и бадановых пустошей, для которых характерно участие деревьев *Abies sibirica* и *Pinus sibirica,* кустарников *Betula rotundifolia, Cotoneaster uniflorus, Juniperus sibirica, Lonicera pallasii, Spiraea alpina.* В травяно-кустарничковом ярусе доминиру-

ет *Bergenia crassifolia.* Грибы в данных сообществах встречаются редко, за исключением *Psilocybe montana* – наиболее распространенного вида в различных альпийских ландшафтах.

## Заключение

Таким образом, на территории Ивановского хребта выявлено 103 вида и 2 вариации сумчатых и базидиальных макромицетов, из которых 16 видов и две вариации отмечены на Алтае впервые. 72 вида обнаружено в лесном, 30 видов – в субальпийском, 18 видов – в горно-тундровом поясах. Самыми богатыми в микологическом отношении оказались кедрово-лиственнично-пихтовые травяные леса (56,3% всех видов).

В условиях холодно-доминируемых окружающих сред наряду с аркто-альпийскими видами могут существовать бореальные и экологически пластичные широко распространенные виды грибов. При этом происходит смещение или ограничение сроков их вегетации.

Развитие микобиоты в высокогорных районах идет по тем же законам, что и у высшей растительности. С увеличением высоты происходят обеднение видового состава макромицетов, изменение таксономической и эколого-трофической структуры биоты. Структурные изменения микобиоты происходят не только при смене растительных поясов, но и в пределах одного пояса. Видовой состав грибов зависит от совокупности экологических факторов конкретного экотопа. Большое влияние на рост и развитие шляпочных грибов оказывают влажность, температура, наличие субстрата или древесного симбионта.

## *Литература*

1. *Шварцман С.Р., Филимонова Н.М.* Флора споровых растений Казахстана. Т. VI. Gasteromycetes. Алма-Ата : Наука КазССР, 1970. 317 с.
2. *Самгина Д.И.* Флора споровых растений Казахстана. Т. XIII. Агариковые грибы. 1. Agaricales. Алма-Ата : Наука КазССР, 1981. 272 с.
3. *Самгина Д.И.* Флора споровых растений Казахстана. Т. XIII. Агариковые грибы. 2. Agaricales. Алма-Ата : Наука КазССР, 1985. 271 с.
4. *Нам Г.А., Рахимова Е.В., Ермекова Б.Д. и др.* Современное состояние изученности Казахстанского Алтая : сб. материалов V Междунар. конф. (г. Пермь, 7–13 сентября 2009 г.) / науч. ред. Л.Г. Переведенцева, Т.Л. Егошина, В.Г. Стороженко. Пермь : Перм. гос. пед. ун-т, 2009. 383 с.
5. *Седельников В.П.* Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск : Наука, 1988. 223 с.
6. *Бондарцев А.С., Зингер Р.А.* Руководство по сбору высших базидиальных грибов для научного их изучения // Труды Ботанического института им. В.А. Комарова АН СССР. Сер. 2, вып. 6. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1950. 38 с.
7. *Коваленко А.Е.* Экологический обзор грибов из порядка *Polyporales* s. str., *Boletales*, *Agaricales* s. str., *Russulales* в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа // Микология и фитопатология. 1980. Т. 14, вып. 4.

8. *Программа* и методика биогеоценологических исследований. М. : Наука, 1974. С. 122–131.
9. *Полевая* геоботаника. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. 530 с.
10. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
11. *Игнатов М.С., Афонина О.М.* Список мхов территории бывшего СССР // Arctoa. Т. 5. С. 9–142.
12. *Седельникова Н.В.* Лишайники Западного и Восточного Саяна. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. 190 с.
13. *Красная* книга Республики Алтай (растения). Горно-Алтайск, 2007. 271 с.
14. *Красная* книга Новосибирской области: Животные, растения и грибы / Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Новосибирской области. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск : Арта, 2008. 528 с.
15. *Maas Geesteranus R.A.* II Conspectus of the Mycenas of the Northern Hemisphere. Amsterdam ; Oxford ; New York ; Tokyo, 1992. 494 p.
16. *Марина Л.В.* Агарикоидные базидиомицеты Висимского заповедника (Средний Урал). СПб. : Изд-во ВИЗР, 2006. 102 с.
17. *Переведенцева Л.Г.* Конспект агарикоидных базидиомицетов Пермского края. Пермь : Перм. гос. пед. ун-т, 2008. 86 с.
18. *Вассер С.П.* Флора грибов Украины. Агариковые грибы. К. : Наукова Думка, 1980. 328 с.
19. *Lange M.* Arctic Gasteromycetes III. Additional notes on Bovista and Calvatia from South Greenland and from Tyumen region, Siberia, Arctic and Alpine Mycology 5: Proc. of the Vth Intern. Sympos. on Arcto-Alpine Mycology (ISAM 5), Labytnangi / eds V.A. Mukhin, H. Knudsen. Ekaterinburg : Ekaterinburg Publ., 1998. P. 82–85.
20. *Ребриев Ю.А., Горбунова И.А.* Гастеромицеты юга Западной и Средней Сибири // Сибирский ботанический вестник. 2007. Т. 2, вып. 1. С. 51–60.
21. *Ширяев А.Г.* Видовое разнообразие гастеромицетов Свердловской области // Микология и фитопатология. 2008. Т. 42, вып. 4. С. 330–341.

*Поступила в редакцию 12.08.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 77–92***

doi: 10.17223/19988591/20/7

**Irina A. Gorbunova, Eugeny G. Zibzeev**

*Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

## ECOLOGO-CENOTIC FEATURES AND BELT DISTRIBUTION OF THE MACROMYCETES OF THE IVANOVSKY RIDGES (RUDNY ALTAY)

*The July macromycete biota of Ivanovsky ridges (Rudny Altai) has been studied. The studies have been conducted in various communities of the forest and subalpine belts, geobotanical descriptions of which have been made; a collection of basidiomycetes and ascomycetes has been composed. As a result, 103 species and two variations of basidiomycetes and ascomycetes have been detected, 16 of them being new for Altai. The majority of basidiomycetes (72 species) have been found in the forest belt, 30 species – in the subalpine and 18 – in the mountain tundra belt. More than a half of all the detected species (56.3%) have been collected in cedar-larch-fir grassy forests.*

*The cenotic role of macromycetes increases in the middle and upper parts of the forest belt. In the trophic specter of the forest mycobiota xylotrophs make up about 62% of the total. Mycorriza symbionts and litter saprotrophs only amounted to 24.4% of the species collected, which is a characteristic ratio of old-aged conifer mountain forests. Larch fir-tree forests situated on the southern macroslope of Ivanovsky ridges have proved to have significantly less diversity (17 species). Floodplain forests are populated by widely spread forest species of fungi.*

*In the subalpine belt the total of 30 species of macromycetes has been recorded. In moss-cedar-larch with Betula rotundifolia, cedar-larch-lichen and cedar-larch tallgrass sparse forests 10 species of macromycetes have been found, most of them being saprotrophs. The only species distinguished by abundant fruiting was Marasmius androsaceus (L.) Fr. In sparse forests with a pronounced herbaceous layer and lacking shrubby and moss-lichen ones isolated fruit bodies of mycorrhizal symbionts of larch and cedar Suillus grevillei (Klotzsch) Singer u S. placidus (Bonord.) Singer as well as mycromycetes parasiting on larch: Laricifomes officinalis (Vill.) Kotl. et Pouzar and Phaeolus schweinitzii (Fr.) Pat. have been observed. In the trophic specter of sparse forests xylotrophs predominated. In subalpine tallgrass forests polydominant communities with Saussurea and Rhaponticum were represented widely, creating favorable conditions for the development of herbotroph fungi. Abundant fruiting of ascomecetes fungi and of an agaricoid basidiomycete Hemimycena pseudocrispula (Kühner) Singer has been recorded there. A remarkable diversity of species and abundant fruiting of bryotrophs have been observed in swamps with mosses and Carex occupying small territories in the subalpine belt of Ivanovsky ridges. The species with a cenotic advantage were Botryotinia calthae Hennebert et M.E. Elliott, Galerina vittiformis (Fr.) Earle, Hypholoma elongatum (Pers.) Ricken.*

*In the mountain tundra belt 18 species have been collected, the majority of them (44%) being characteristic for the alpine landscapes. 5 species are widely spread in Holarctica; other 5 pertain to boreal element. Mycotrophy species and humus saprotrophs proved to be the prevailing ecologo-trophic groups in tundra. The greatest number of species has been found in dryad tundras and alpine grassland with Sibbaldia.*

**Key words:** *macromycetes; ascomycetes; basidiomycetes; mycobiota; Ivanovsky ridges; Rudny Altai.*

*Received August 12, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 93–104*

УДК 582.32:581.526.42::551.435.122(282.256.1)(571.14–925.116)
doi: 10.17223/19988591/20/8

**А.П. Дьяченко[1], Г.С. Таран[2]**

*[1]Уральский государственный педагогический университет (г. Екатеринбург)*
*[2]Западно-Сибирский филиал Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Новосибирск)*

# К БРИОФЛОРЕ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСОВ РЕКИ ОБИ В ПОДЗОНЕ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

*В пойменных лесах р. Оби в окрестностях г. Колывани Колыванского района Новосибирской области (55°11'40" с.ш., 82°52'24" в.д.) выявлено 26 видов мхов, в том числе Barbula convoluta, новый для Новосибирской области вид. В ветловых (Salix alba) лесах обнаружено 11, в тополевых (Populus nigra, P. alba) – 26, в березовых (Betula pubescens) – 8 видов мхов. В пределах стандартной площадки величиной 1 ар (100 м$^2$) в ветловых лесах отмечается от 6 до 11 видов (в среднем 8,5 вид/ар), в тополевых – 8–18 (13,1 вид/ар), в березовых – 6–7 (6,5 вид/ар). В напочвенном и эпифитном ярусах отмечено по 20 видов. Основные породы-форофиты в этих лесах – Salix alba, Populus nigra, P. alba, Betula pubescens, эпизодические – Caragana arborescens и Viburnum opulus. На ветле собрано 11, на осокоре (Populus nigra) – 16, на тополе белом – 6, на березе – 13, на карагане – 6, на калине – 2 вида мхов. В пределах аровых пробных площадок на ветле отмечается от 4 до 7 видов (в среднем 5,6 вид/ар), на осокоре – 8–13 (9,8 вид/ар), на тополе белом – 2–6 (4,3 вид/ар), на березе – 2–8 (4,1 вид/ар).*

*Наибольшее внимание уделено бриофлоре топольников. По общему видовому богатству, числу видов на 1 ар и степени развития на почве бриокомпонент тополевых лесов Колыванского отрезка Оби закономерно вписывается в общую картину изменения этих показателей в географическом пространстве топольников обской поймы: от подзоны средней тайги (Ханты-Мансийский автономный округ) до лесостепной зоны (Алтайский край).*

*Подведен первый итог изучения бриофлоры топольников Верхней и Средней Оби. В топольниках таежной зоны отмечено 59 видов, в том числе 51 – в средней тайге и 34 – в южной. Бриофлора лесостепных топольников насчитывает 48 видов. В целом в тополевых лесах Оби, распространенных от с. Быстрый Исток Алтайского края (52°23'27" с.ш., 84°22'13" в.д.) до о-ва Шитов в окрестностях Сургута (61°12'50" с.ш., 72°41'45" в.д.), выявлено 74 вида мхов, представленных в обзорной бриофлористической таблице с указанием постоянства видов в геоботанических описаниях.*

**Ключевые слова***: мхи; пойменные леса; тополевые леса; Populus nigra; Populus alba; р. Обь; северная лесостепь; Западная Сибирь; Россия.*

## Введение

Рассматриваемая в пространстве геоботанических описаний бриофлора поймы Оби уже изучалась в подзонах средней и южной тайги [1–3], цен-

тральной и южной лесостепи [4, 5]. В данной статье представлен материал по отрезку Оби, расположенному в подзоне северной лесостепи.

## Материалы и методики исследования

Мхи собраны Г.С. Тараном в августе – сентябре 2010 г. при описании пойменных лесов у с. Колывань Колыванского района Новосибирской области. Образцы отбирались в пределах пробных площадок величиной 1 ар (100 м$^2$), расположенных на протяжении 3 км вдоль левого берега Оби с центральной точкой 55°11′40″ с.ш., 82°52′24″ в.д.

Всего обработано 55 многовидовых пакетов, определил образцы А.П. Дьяченко. Названия мхов даются по М.С. Игнатову с соавт. [6], сосудистых растений – по С.К. Черепанову [7], эколого-флористических синтаксонов – по Г.С. Тарану [8–10]. Обработка флористических списков проводилась с помощью интегрированной ботанической информационной системы IBIS [11].

### *Перечень изученных в бриологическом отношении сообществ*

**Ветловые леса**: **1** – ветляник (*Salix alba*) ежевичный (*Rubus caesius*), 08.09.2010; **2** – ветляник ежевично-хвощовый (*Equisetum hyemale*), 08.09.2010. Эти леса относятся к союзу ***Equiseto hyemalis–Populion nigrae*** Taran 1997, порядку ***Salicetalia purpureae*** Moor 1958 и классу ***Salicetea purpureae*** Moor 1958 эколого-флористической классификации [10].

**Тополевые леса**: **3** – осокорник (*Populus nigra*) хвощовый, 26.08.2010; **4** – перестойный топольник (*Populus alba*, *P. nigra*) ежевичный, 27.08.2010; **5** – перестойный топольник (*Populus nigra*, *P. alba*) ежевичный, 30.08.2010; **6** – осокорник ежевично-хвощовый, 01.09.2010; **7** – осокорник крупнотравно (*Cacalia hastata*)-ежевичный, 20.09.2010; **8** – осокорник ежевично-хвощовый, 21.09.2010; **9** – топольник ежевичный, 22.09.2010; **10** – белотопольник (*Populus alba*) ежевично-хвощовый, 26.09.2010; **11** – топольник хвощово-ежевичный, 27.09.2010. Эти леса относятся к ассоциации ***Equiseto hyemalis–Populetum nigrae*** Taran 1997, союзу ***Equiseto hyemalis–Populion nigrae***, порядку ***Salicetalia purpureae*** и классу ***Salicetea purpureae*** [9].

**Березовые леса**: **12** – березняк (*Betula pubescens*) кустарниково (*Padus avium, Frangula alnus*)-страусниково (*Matteuccia struthiopteris*)-ежевичный, 30.08.2010; **13** – белотополево-березовый (*Betula pubescens*) лес кустарниково (*Caragana arborescens*, *Rosa acicularis*)-хвощово-ежевичный, 01.09.2010. Эти леса относятся к порядку ***Calamagrostio epigeii–Betuletalia pendulae*** Korolyuk in Ermakov et al. 1991 и классу ***Brachypodio pinnati–Betuletea pendulae*** Ermakov et al. 1991 [12].

## Результаты исследования и обсуждение

Виды мхов приводятся в алфавитном порядке. Их встречаемость характеризуется баллами: I – вид отмечен в 1–2 описаниях; II – в 3–5; III – в 6–7; IV – в 8–10; V – в 11–13. При баллах в круглых скобках указано число описаний, в которых вид представлен. В целях точной поярусной локализации находок номера описаний (см. перечень сообществ), где собран вид, даются после ярусных индексов D (подстилка, почва, валеж, пни, земляные муравейники) и E (стволы и основания деревьев и кустарников). Наличие спорогонов помечено индексом S+, выводковых почек – индексом P+; при них указываются номера соответствующих описаний. Обоеполый вид отмечен индексом ♀♂.

*Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al. – V(13): на валеже, почве, пеньке, на основаниях и стволах ветел в ветляниках ежевичном и ежевично-хвощовом; на валеже, почве, подстилке, гнилых пнях, земляных муравейниках, на основаниях и стволах тополей, ветел, берез, реже караганы и калины во всех тополевых лесах; на валеже березы и стволе тополя белого в березняке кустарниково-страусниково-ежевичном; на валеже березы и пне, на стволах и основаниях берез и тополя белого в белотополево-березовом лесу кустарниково-хвощово-ежевичном. D 1–4, 6–13; E 1–13; S+ 1–13.

*Barbula convoluta* Hedw. – I(1): на стволах и основаниях осокорей в осокорнике крупнотравно-ежевичном. E 7.

*Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al. – V(13): на стволах и основаниях ветел в ветляниках ежевичном и ежевично-хвощовом, на валеже и почве в ветлянике ежевично-хвощовом; на валеже, почве, подстилке, гнилых пнях, земляных муравейниках, на основаниях и стволах тополей, ветел, реже берез и караганы во всех типах тополевых лесов; на валеже березы и пне в березовых лесах, на стволах и основаниях берез в белотополево-березовом лесу кустарниково-хвощово-ежевичном. D 2–4, 6–13; E 1–11, 13; S+ 2, 9.

*Bryum creberrimum* Taylor – III(7): на валеже и почве в ветлянике ежевично-хвощовом (♀♂); на валеже, почве, гнилых пнях, земляных муравейниках, на стволах и основаниях ветел, реже осокорей и берез в большинстве тополевых лесов. D 2, 7–11; E 6–8, 10; S+ 8–10.

*Callicladium haldanianum* (Grev.) H.A. Crum – II(3): на стволах и основаниях берез в осокорнике хвощовом и топольнике хвощово-ежевичном, на стволах и основаниях тополей в осокорнике ежевично-хвощовом. E 3, 6, 11.

*Campylidium sommerfeltii* (Myrin) Ochyra – II(5): на валеже, почве, подстилке, гнилых пнях, на основаниях и стволах осокорей, реже ветел во многих типах тополевых лесов. D 6–8, 11; E 6, 7, 10.

*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. – II(3): на валеже, почве и земляных муравейниках в осокорнике ежевично-хвощовом, топольниках ежевичном и хвощово-ежевичном, на основаниях берез в осокорнике ежевично-хвощовом. D 8, 9, 11; E 8; S+ 8.

*Dicranum montanum* Hedw. – I(2): на валеже и почве в осокорнике ежевично-хвощовом, на основаниях берез в топольнике хвощово-ежевичном. D 8; E 11.

*Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. – II(3): на валеже, почве и гнилых пнях в осокорнике крупнотравно-ежевичном и топольнике ежевичном, на земляных муравейниках в белотопольнике ежевично-хвощовом. D 7, 9, 10.

*Drepanocladus polygamus* (Bruch et al.) Hedenäs – IV(8): на валеже и пеньках в ветловых лесах, на основаниях и стволах ветел в ветлянике ежевичном; на валеже, почве, подстилке, земляных муравейниках, на основаниях и стволах осокорей, реже ветел, на основаниях берез во многих тополевых лесах. D 1, 2, 8, 10, 11; E 1, 5–8.

*Haplocladium microphylum* (Hedw.) Broth. – II(3): на валеже и почве в ветлянике ежевично-хвощовом и топольниках ежевичных. D 2, 4, 9.

*Helodium blandowii* (F. Weber & D. Mohr) Warnst. – I(1): на стволах и основаниях осокорей в осокорнике крупнотравно-ежевичном. E 7.

*Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson – I(1): на валеже, почве и гнилых пнях в осокорнике крупнотравно-ежевичном. D 7.

*Leskea polycarpa* Hedw. – V(13): на валеже, почве, пеньках, на основаниях и стволах ветел в ветловых лесах; на валеже, почве, подстилке, гнилых пнях, земляных муравейниках, на стволах и основаниях тополей, ветел, берез, реже караганы и калины во всех тополевых лесах; с валежа березы, пня, со стволов и оснований тополя белого в березовых лесах, со стволов и оснований берез в белотополево-березовом лесу. D 1–4, 6–13; E 1–13; S+ 1–13.

*Orthotrichum obtusifolium* Brid. – V(11): на стволах ветел в ветлянике ежевично-хвощовом; на валеже в топольнике ежевичном, на стволах тополей и ветел во всех тополевых лесах; со стволов тополя белого в белотополево-березовом лесу. D 4; E 2–11, 13.

*Orthotrichum speciosum* Nees – IV(10): на стволах ветел в ветлянике ежевично-хвощовом; на стволах тополей и ветел почти во всех тополевых лесах; на стволе тополя белого в белотополево-березовом лесу. E 2–8, 10, 11, 13. S+ 2–8, 10, 11, 13.

*Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J. Kop. – IV(10): на валеже, пеньках и почве в ветловых лесах; на валеже, почве, подстилке и гнилых пнях во многих тополевых лесах; на стволах и основаниях тополей, ветел, редко берез почти во всех тополевых лесах. D 1, 2, 6–9, 11; E 3, 5–11; S+ 3.

*Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) Bruch et al. – I(1): на стволах и основаниях караганы в осокорнике хвощовом. E 3.

*Platygyrium repens* (Brid.) Bruch et al. – III(6): на валеже, подстилке и почве в осокорниках ежевично-хвощовых; на стволах и основаниях тополей, реже ветлы и караганы в большинстве тополевых лесов. D 6, 8; E 3–5, 8, 9.

*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. – I(2): на валеже, почве и гнилых пнях в осокорнике крупнотравно-ежевичном и топольнике ежевичном. D 7, 9.

*Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. – I(1): на валеже и почве в осокорнике ежевично-хвощовом. D 8.

*Pylaisia polyantha* (Hedw.) Bruch et al. – V(13): на стволах и основаниях ветел в ветловых лесах, на валеже и почве в ветлянике ежевично-хвощовом; на валеже, почве, подстилке в большинстве тополевых лесов; на стволах и основаниях тополей, ветел, реже березы и караганы во всех тополевых лесах; с валежа березы в березняке кустарниково-страусниково-ежевичном, со стволов и оснований берез в березовых лесах, со ствола и основания тополя белого в белотополево-березовом лесу. D 2–4, 6, 8, 9, 11, 12; E 1–13; S+ 1–13.

*Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske – IV(9): на валеже и почве в ветлянике ежевично-хвощовом; на валеже, почве, подстилке, гнилых пнях, на стволах и основаниях берез, тополей, ветлы в большинстве тополевых лесов; на валеже березы в березняке кустарниково-страусниково-ежевичном; на стволах и основаниях берез в белотополево-березовом лесу. D 2, 3, 6, 7, 9, 12; E 3, 6, 10, 11, 13.

*Sciuro-hypnum oedipodium* (Mitt.) Ignatov & Huttunen – I(1): на валеже, почве и гнилых пнях в осокорнике крупнотравно-ежевичном. D 7.

*Sciuro-hypnum reflexum* (Starke) Ignatov & Huttunen – II(3): на стволах и основаниях караганы, осокорей и берез в осокорниках хвощовом и крупнотравно-ежевичном и топольнике хвощово-ежевичном соответственно. E 3, 7, 11.

*Stereodon pallescens* (Hedw.) Mitt. – II(5): на валеже и почве в осокорниках хвощовом, ежевично-хвощовом и топольнике ежевичном; с оснований берез в осокорнике ежевично-хвощовом, топольнике хвощово-ежевичном и березняке кустарниково-страусниково-ежевичном. D 3, 8, 9; E 8, 11, 12; S+ 9.

Всего в изученных лесах отмечено 26 видов мхов, из которых *Barbula convoluta* впервые указывается для Новосибирской области.

По классам встречаемости виды распределились следующим образом: I – 8, II – 7, III – 2, IV – 4, V – 5. В ветловых лесах отмечено 11, в тополевых – 26, в березовых – 8 видов. Бриофлора ветляников и березняков полностью включается в бриофлору тополевых лесов. Самая низкая видовая насыщенность мхами (6,5 вида на 1 ар) характерна для березовых лесов, самая высокая (13,1 вид/ар) – для тополевых (табл. 1).

Наиболее обычны в изученных лесах *Amblystegium serpens*, *Leskea polycarpa*, *Brachythecium salebrosum*, *Pylaisia polyantha*, *Orthotrichum obtusifolium*, *O. speciosum*, *Sanionia uncinata*.

В ярусах D и E отмечено по 20 видов. При этом в D-ярусе почти нет специфичных мхов. Только в нем отмечен лишь умеренно константный вид *Drepanocladus aduncus*. Четкую приуроченность к эпифитному ярусу обнаруживают *Orthotrichum obtusifolium* и *O. speciosum* (табл. 1).

В среднем видовая насыщенность мхами E-яруса выше, чем D-яруса. В качестве основных пород-форофитов в описаниях пойменных лесов выступают *Salix alba*, *Populus nigra*, *P. alba*, *Betula pubescens*, в качестве эпизодических – *Caragana arborescens* и *Viburnum opulus*. В пределах аровых пробных площадок наибольшее число видов отмечается на стволах осокорей, на них же найдено наибольшее число видов (табл. 2).

Таблица 1

**Общая и поярусная характеристика видового состава и видовой насыщенности бриокомпонента пойменных лесов Колыванского отрезка р. Оби**

| Лесная формация (число описаний) | Ветловые леса (2) | | | Тополевые леса (9) | | | Березовые леса (2) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ярус | DE | D | E | DE | D | E | DE | D | E |
| Общее число видов по ярусам | 11 | 9 | 7 | 26 | 20 | 20 | 8 | 5 | 8 |
| Средняя ВН, кол-во видов / ар | 8,5 | 6,5 | 5,5 | 13,1 | 7,9 | 10,4 | 6,5 | 4,0 | 5,5 |
| Амплитуда ВН, кол-во видов / ар | 6–11 | 4–9 | 5–6 | 8–18 | 0–13 | 7–13 | 6–7 | 3–5 | 4–7 |
| Вид | Встречаемость видов по ярусам, % | | | | | | | | |
| *Amblystegium serpens* | 100 | 100 | 100 | 100 | 89 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| *Barbula convoluta* | | | | 11 | | 11 | | | |
| *Brachythecium salebrosum* | 100 | 50 | 100 | 100 | 89 | 100 | 100 | 100 | 50 |
| *Bryum creberrimum* | 50 | 50 | | 67 | 56 | 44 | | | |
| *Callicladium haldanianum* | | | | 33 | | 33 | | | |
| *Campylidium sommerfeltii* | | | | 56 | 44 | 33 | | | |
| *Ceratodon purpureus* | | | | 33 | 33 | 11 | | | |
| *Dicranum montanum* | | | | 22 | 11 | 11 | | | |
| *Drepanocladus aduncus* | | | | 33 | 33 | | | | |
| *Drepanocladus polygamus* | 100 | 100 | 50 | 67 | 33 | 44 | | | |
| *Haplocladium microphylum* | 50 | 50 | | 22 | 22 | | | | |
| *Helodium blandowii* | | | | 11 | | 11 | | | |
| *Leptobryum pyriforme* | | | | 11 | 11 | | | | |
| *Leskea polycarpa* | 100 | 100 | 100 | 100 | 89 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| *Orthotrichum obtusifolium* | 50 | | 50 | 100 | 11 | 100 | 50 | | 50 |
| *Orthotrichum speciosum* | 50 | | 50 | 89 | | 89 | 50 | | 50 |
| *Plagiomnium cuspidatum* | 100 | 100 | | 89 | 56 | 89 | | | |
| *Plagiothecium denticulatum* | | | | 11 | | 11 | | | |
| *Platygyrium repens* | | | | 67 | 22 | 56 | | | |
| *Pleurozium schreberi* | | | | 22 | 22 | | | | |
| *Pohlia nutans* | | | | 11 | 11 | | | | |
| *Pylaisia polyantha* | 100 | 50 | 100 | 100 | 67 | 100 | 100 | 50 | 100 |
| *Sanionia uncinata* | 50 | 50 | | 67 | 44 | 44 | 100 | 50 | 50 |
| *Sciuro-hypnum oedipodium* | | | | 11 | 11 | | | | |
| *Sciuro-hypnum reflexum* | | | | 33 | | 33 | | | |
| *Stereodon pallescens* | | | | 44 | 33 | 22 | 50 | | 50 |

*Примечание*. В табл. 1–3: ВН – видовая насыщенность сообществ, т.е. кол-во видов мхов на площади 1 ар, или вид / ар.

Ряд видов тяготеет к определенным породам: *Orthotrichum obtusifolium*, *O. speciosum* и *Plagiomnium cuspidatum* – к ветле и тополям, *Platygyrium repens* – к осокорю, *Stereodon pallescens* – к березе (табл. 2).

Представленный материал позволяет подвести первый итог многолетнему изучению бриофлоры тополевых лесов Оби в таежной и лесостепной зонах (табл. 3). В подзоне средней тайги [1] бриокомпонент топольников характеризуется наивысшими показателями видового богатства, средней и максимальной видовой насыщенности, среднего и максимального проективного покрытия мхов в напочвенном ярусе. С севера на юг, вплоть до

подзоны центральной лесостепи (Каменский ключевой участок [4]), эти показатели постепенно снижаются. В подзоне южной (предгорной) лесостепи (Быстроистокский ключевой участок [5]), которая является поясным аналогом северной лесостепи на равнине, эти показатели вновь повышаются, приближаясь в ряде случаев к показателям топольников подзоны южной тайги (Колпашевский участок [3]).

На Сургутском участке в составе топольников отмечено 48 видов мхов [1], еще 3 вида (*Fissidens bryoides*, *Campylium protensum*, *Plagiomnium rostratum*) указывается для Вах-Тымского отрезка обской поймы [2, 13]. Таким образом, в среднетаежных топольниках на Оби отмечен 51 вид, в южнотаежных [3] – 34 вида.

Таблица 2

**Распределение мхов, отмеченных на стволах и основаниях деревьев и кустарников в пойменных лесах Колыванского отрезка р. Оби, по породам-форофитам**

| Форофит | Вт | Тч | Тчб | Тб | Б | Кг | Кл |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число описаний, в которых отмечен форофит | 8 | 5 | 4 | 3 | 8 | 1 | 1 |
| Всего видов на форофите | 11 | 16 | 8 | 6 | 13 | 6 | 2 |
| Амплитуда ВН, кол-во видов / ар | 4–7 | 8–13 | 7–7 | 2–6 | 2–8 | нд | нд |
| Средняя ВН, кол-во видов / ар | 5,6 | 9,8 | 7,0 | 4,3 | 4,1 | нд | нд |
| Вид | Встречаемость вида на форофите, % | | | | | | |
| *Amblystegium serpens* | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | x | x |
| *Barbula convoluta* | | 20 | | | | | |
| *Brachythecium salebrosum* | 88 | 100 | 100 | 33 | 38 | x | |
| *Bryum creberrimum* | 50 | 20 | | | 12 | | |
| *Callicladium haldanianum* | | 20 | | | 25 | | |
| *Campylidium sommerfeltii* | 12 | 40 | | | | | |
| *Ceratodon purpureus* | | | | | 12 | | |
| *Dicranum montanum* | | | | | 12 | | |
| *Drepanocladus polygamus* | 38 | 60 | | | 12 | | |
| *Helodium blandowii* | | 20 | | | | | |
| *Leskea polycarpa* | 100 | 100 | 100 | 100 | 62 | x | x |
| *Orthotrichum obtusifolium* | 25 | 100 | 100 | 67 | | | |
| *Orthotrichum speciosum* | 50 | 100 | 75 | 67 | | | |
| *Plagiomnium cuspidatum* | 38 | 100 | 75 | | 12 | | |
| *Plagiothecium denticulatum* | | | | | | x | |
| *Platygyrium repens* | | 60 | 50 | | | x | |
| *Pylaisia polyantha* | 50 | 100 | 100 | 67 | 50 | | |
| *Sanionia uncinata* | 12 | 20 | | | 38 | | |
| *Sciuro-hypnum reflexum* | | 20 | | | 12 | x | |
| *Stereodon pallescens* | | | | | 38 | | |

*Примечание*. Породы-форофиты: Вт – *Salix alba*; Тч – *Populus nigra*; Тчб – смешанные сборы с *Populus nigra* и *P. alba*; Тб – *Populus alba*; Б – *Betula pubescens*; Кг – *Caragana arborescens*; Кл – *Viburnum opulus*. «Нд» – данных для выявления соответствующих показателей недостаточно. Крестиком (x) указаны мхи, отмеченные на породах, проявивших себя в качестве форофитов только в одном из описаний.

Таблица 3

**Бриофлористическая характеристика тополевых лесов поймы р. Оби**

| Номер ключевого участка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Подзона | СТ | ЮТ | СЛС | ЦЛС | ЮЛС |
| Местонахождение | Сур | Клп | Клв | Кам | БИс |
| Число описаний | 12 | 7 | 9 | 4 | 6 |
| Среднее ОПП мхов, % | 2,3 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Амплитуда ОПП мхов, % | +–15 | +–3 | 0–0,8 | 0–0,7 | +–1 |
| Среднее число видов, кол-во видов / ар | 16,0 | 14,4 | 13,1 | 7,2 | 12.0 |
| Амплитуда ВН мхами, кол-во видов / ар | 5–28 | 8–23 | 8–18 | 3–11 | 6–23 |
| Общее число видов | 48 | 34 | 26 | 16 | 34 |
| Литературный источник | [1] | [3] | Данная статья | [4] | [5] |
| Вид | Встречаемость видов, % | | | | |
| *Amblystegium serpens* | 75 | 100 | 100 | 75 | 100 |
| *Aulacomnium palustre* | 17 | | | | |
| *Barbula convoluta* | | | 11 | | |
| *Barbula unguiculata* | | | | 25 | 50 |
| *Brachythecium capillaceum* | 17 | | | | 17 |
| *Brachythecium mildeanum* | 33 | | | 25 | 67 |
| *Brachythecium salebrosum* | 92 | 86 | 100 | 25 | 50 |
| *Bryoerythrophyllum recurvirostre* | | | | | 17 |
| *Bryum argenteum* | | | | | 33 |
| *Bryum caespiticium* | 8 | 43 | | 50 | 33 |
| *Bryum creberrimum* | | | 67 | | |
| *Bryum elegans* | | | | | 17 |
| *Bryum moravicum* | | | | | 17 |
| *Bryum pallescens* | 8 | | | | |
| *Bryum pseudotriquetrum* | 33 | 14 | | | |
| *Callicladium haldanianum* | 8 | | 33 | 25 | |
| *Calliergon cordifolium* | 25 | | | | |
| *Calliergonella lindbergii* | 25 | 43 | | | 17 |
| *Campylidium sommerfeltii* | 67 | 86 | 56 | | |
| *Ceratodon purpureus* | 83 | 14 | 33 | | 50 |
| *Climacium dendroides* | 50 | 29 | | | |
| *Conardia compacta* | | | | | 17 |
| *Cratoneuron filicinum* | | | | | 17 |
| *Dicranum bonjeanii* | 8 | | | | |
| *Dicranum flagellare* | 8 | | | | |
| *Dicranum fuscescens* | | 14 | | | |
| *Dicranum montanum* | | 14 | 22 | | |
| *Dicranum polysetum* | 8 | | | | |
| *Didymodon fallax* | | | | | 17 |
| *Ditrichum* cf. *heteromallum* | 8 | | | | |
| *Drepanocladus aduncus* | 42 | 43 | 33 | | |
| *Drepanocladus polygamus* | | 71 | 67 | | 17 |
| *Fissidens bryoides* | | 29 | | | 17 |
| *Fontinalis hypnoides* | 8 | | | 25 | |
| *Funaria hygrometrica* | | | | | 17 |
| *Haplocladium microphyllum* | 42 | 57 | 22 | | 17 |
| *Helodium blandowii* | 8 | | 11 | | |

Окончание табл. 3

| Номер ключевого участка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| *Herzogiella turfacea* | 8 | | | | |
| *Hygroamblystegium varium* | 8 | | | | 17 |
| *Hylocomium splendens* | 8 | 14 | | | |
| *Leptobryum pyriforme* | 25 | | 11 | 25 | 17 |
| *Leptodictyum riparium* | 50 | 14 | | 100 | 33 |
| *Leskea polycarpa* | 100 | 100 | 100 | 100 | 83 |
| *Oncophorus wahlenbergii* | 8 | 14 | | | |
| *Orthotrichum obtusifolium* | 83 | 100 | 100 | 75 | 83 |
| *Orthotrichum speciosum* | 83 | 100 | 89 | 25 | 67 |
| *Plagiomnium cuspidatum* | 33 | 71 | 89 | 25 | 67 |
| *Plagiomnium elatum* | | | | 25 | |
| *Plagiomnium ellipticum* | 17 | | | | 17 |
| *Plagiomnium drummondii* | | 14 | | | |
| *Plagiomnium medium* | | | | 25 | 17 |
| *Plagiothecium denticulatum* | | 29 | 11 | | |
| *Platygyrium repens* | | | 67 | | 17 |
| *Pleurozium schreberi* | 50 | 14 | 22 | | |
| *Pohlia bulbifera* | 8 | | | | |
| *Pohlia cruda* | 8 | | | | |
| *Pohlia nutans* | 42 | 29 | 11 | | |
| *Pohlia wahlenbergii* | | | | | 33 |
| *Polytrichum juniperinum* | 17 | | | | |
| *Polytrichum piliferum* | | 14 | | | |
| *Pylaisia polyantha* | 92 | 86 | 100 | 75 | 83 |
| *Pylaisia selwynii* | 17 | 14 | | | 17 |
| *Sanionia uncinata* | 92 | 71 | 67 | | 33 |
| *Sciuro-hypnum oedipodium* | 50 | 57 | 11 | | 33 |
| *Sciuro-hypnum reflexum* | 42 | 14 | 33 | | |
| *Sciuro-hypnum starkei* | 17 | 14 | | | |
| *Serpoleskea subtilis* | 8 | | | | |
| *Stereodon pallescens* | 17 | | 44 | | |
| *Timmia megapolitana* | | 14 | | | |
| *Tortula truncata* | 8 | | | | |
| *Warnstorfia pseudostraminea* | 17 | | | | |
| *Zygodon sibiricus* | | 14 | | | |

*Примечание*. Синтаксономическая принадлежность тополевых лесов: *1–2* – асс. ***Anemonidio dichotomi-Populetum nigrae*** Taran 1993; *3–5* – асс. ***Equiseto hyemalis–Populetum nigrae*** Taran 1997. Подзоны: СТ – средняя тайга; ЮТ – южная тайга; СЛС – северная лесостепь; ЦЛС – центральная лесостепь; ЮЛС – южная (предгорная) лесостепь. Местонахождения: Сур – г. Сургут (окрестности); Клп – г. Колпашево (окрестности); Клв – г. Колывань (окрестности); Кам – пойма Оби в Каменском районе Алтайского края; БИс – с. Быстрый Исток Быстроистокского района Алтайского края (окрестности). ОПП – общее проективное покрытие мхов в напочвенном ярусе. Нумерация литературных источников соответствует таковой в пристатейном списке литературы.

В целом бриофлора обских топольников в пределах таежной зоны насчитывает 59 видов. Топольники таежной зоны относятся к ассоциации ***Anemonidio dichotomi-Populetum nigrae*** Taran 1993 эколого-флористической классификации [8, 14].

Обские топольники в пределах лесостепной зоны относятся к ассоциации ***Equiseto hyemalis–Populetum nigrae*** Taran 1997 [9]. В них выявлено 48 видов мхов.

В целом бриофлора топольников Оби от с. Быстрый Исток Быстроистокского района Алтайского края до гг. Сургут и Нефтеюганск насчитывает 74 вида (см. табл. 3).

## Заключение

Тополевые леса с доминированием осокоря и тополя белого имеют обширный евросибирский ареал. На большей части этого ареала – в Западной и Восточной Европе – они почти полностью истреблены, а уцелевшие насаждения претерпели значительную трансформацию из-за внедрения сорных и адвентивных видов, в том числе гибридов американских тополей. Лишь на Оби тополевые леса евросибирского типа еще сохраняются в состоянии, близком к исконному. Их площади под действием антропогенного пресса неуклонно сокращаются, как это случилось за последние 20 лет на Колыванском отрезке поймы в ходе резкого расширения площади дачных участков. Поэтому многоаспектное исследование обских топольников – весьма актуальная задача.

Используемая нами методика, нацеленная на детальное выявление бриофлоры в пределах четко очерченных аровых площадок, не сулит быстрых результатов, но подразумевает длительную, планомерную, упорную работу. Представленные в статье материалы завершили первый этап нашего многолетнего изучения бриофлоры тополевых лесов Оби.

## *Литература*

1. *Таран Г.С., Писаренко О.Ю., Тюрин В.Н.* Бриофлора сургутской поймы в пространстве синтаксонов классификации Браун-Бланке // Биологические ресурсы и природопользование. Сургут, 2005. Вып. 8. С. 32–65.
2. *Таран Г.С., Казановский С.Г., Мульдияров Е.Я.* Бриофлора Вах-Тымского отрезка поймы Оби в пространстве растительных сообществ // Биологические ресурсы и природопользование. Сургут, 2006. Вып. 9. С. 80–108.
3. *Дьяченко А.П., Таран Г.С.* К бриофлоре пойменных лесов реки Оби в подзоне южной тайги // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 75–91.
4. *Таран Г.С., Ножинков А.Е.* К бриофлоре лесов и лугов поймы верхней Оби (Алтайский край) // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Кемерово, 2007. Вып. 13. С. 86–88.
5. *Ножинков А.Е., Таран Г.С.* К бриофлоре поймы Оби в Быстроистокском районе Алтайского края // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2008. № 3 (4). С. 35–41.
6. *Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al.* Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
7. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.

8. *Таран Г.С.* Синтаксономический обзор лесной растительности поймы средней Оби (александровский отрезок) // Сибирский биологический журнал. 1993. Вып. 6. С. 85–91.
9. *Таран Г.С.* К синтаксономии тополевых лесов Обь-Иртышского бассейна // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Барнаул, 1997. Вып. 3. С. 70–76.
10. *Таран Г.С.* Ивовые леса поймы Оби между устьями Тыма и Ваха (Salicetea purpureae Moor 1958) // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Барнаул, 1999. Вып. 5. С. 47–56.
11. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова : учеб. пособие. Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
12. *Ермаков Н.Б., Королюк А.Ю., Лащинский Н.Н.* Флористическая классификация мезофильных травяных лесов Южной Сибири. Препринт. Новосибирск, 1991. 96 с.
13. *Крылов П.Н.* Материал к флоре споровых растений Алтая и Томской губернии. I: Листостебельные мхи // Известия ТГУ. Томск, 1924. Т. 75. С. 1–48.
14. *Таран Г.С., Тюрин В.Н.* Очерк растительности поймы Оби у города Сургута // Биологические ресурсы и природопользование. Сургут, 2006. Вып. 9. С. 3–54.

*Поступила в редакцию 20.07.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 93–104***

doi: 10.17223/19988591/20/8

**Alexander P. Dyachenko[1], Georgy S. Taran[2]**

[1] *Urals State Pedagogical University, Ekaterinburg, Russia*
[2] *West-Siberian Branch of V.N. Sukachev Institute of Forest of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

## ON THE OB RIVER FLOODPLAIN FORESTS BRYOFLORA IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE SUBZONE

*In the Ob River floodplain forests studied in the vicinities of Kolyvan town, Kolyvan district of Novosibirsk region (55°11'40" north, 82°52'24" east), 26 mosses including Barbula convoluta, new for the region, are revealed. 11 mosses are found in willow (Salix alba) forests, 26 – in poplar (Populus nigra, P. alba) ones and 8 – in birch (Betula pubescens) forests. Within the limits of a standard plot measuring 1 are (100 m$^2$), from 6 to 11 moss species are registered in willow forests (on average 8.5 species per are), 8–18 ones – in poplar forests (13.1 species/are) and 6–7 ones – in birch forests (6.5 species/are). 20 mosses are noted both in a ground layer and an epiphytic one .*

*Main woody phorophytes in the forests are Salix alba, Populus nigra, P. alba, Betula pubescens, episodic ones do Caragana arborescens and Viburnum opulus. 11 moss species are collected on Salix alba, 16 ones – on Populus nigra, 6 – on P. alba, 13 – on Betula pubescens, 6 – on Caragana arborescens and 2 moss species – on Viburnum opulus. Within the limits of a standard plot measuring 1 are, from 4 to 7 mosses are registered on Salix alba (on average 5.6 species per are), 8–13 – on Populus nigra (9.8 species/are), 2–6 – on P. alba (4.3 species/are) and 2–8 – on Betula pubescens (4.1 species/are).*

*Most attention is paid to poplar forests bryoflora. According to the total species richness, the number of species per 1 are and the degree of the development on the ground and fallen trees, Kolyvan area poplar forests bryocomponent is naturally introduced into the overall picture of these indices changes in the geographical space of the Ob river floodplain from the middle taiga subzone (Khanty-Mansi Autonomous Okrug) to the forest-steppe zone (Altai Territory).*

*The first result of the study of the upper and middle Ob poplar forest bryoflora is summed up. 59 mosses are registered in poplar forests of the taiga zone, including 51 ones in the middle taiga subzone and 34 species in the southern taiga one. The forest-steppe poplar forests moss flora includes 48 species. On the whole, 74 mosses are identified in the Ob poplar forests distributed from Bystry Istok village (52°23'27" north and 84°22'13" east), Altai Territory, to Shitov island (61°12'50" north and 72°41'45" east) in Surgut city vicinity. These mosses are presented in the synoptic bryofloristic table with indication of their constancy in geobotanical relevés.*

**Key words**: *mosses; floodplain forests; poplar forests; Populus nigra, Populus alba, Ob River; northern forest-steppe, Western Siberia; Russia.*

*Received July 20, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 105–117*

УДК 582.594.2:581.14
doi: 10.17223/19988591/20/9

**Г.Я. Степанюк, Л.В. Хоцкова**

*Сибирский ботанический сад Томского государственного университета (г. Томск)*

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВИДОВ РОДА *Phalaenopsis* Blume ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ОРАНЖЕРЕЯХ СИБИРСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

*Приведены феноритмологические особенности четырех видов рода Phalaeno-psis Blume при выращивании в теплицах Сибирского ботанического сада Томского государственного университета. Представлены биометрические характеристики плодов видов данного рода и сроки их созревания, определены морфометрические особенности развития проростков на разных питательных средах in vitro. Выявлена оптимальная питательная среда для развития проростков фаленопсисов. Изучено влияние оксидата торфа на рост и развитие трехлетних сеянцев фаленопсиса приятного, выращиваемых в условиях теплиц Сибирского ботанического сада. Проведена апробация способа ускоренного размножения «живыми детками» фаленопсиса эквестриса. Показана перспективность его использования при выращивании орхидей в теплицах. Установлено, что растения фаленопсиса эквестриса, размноженные данным способом, в теплицах ботанического сада зацветают на второй-третий год.*

**Ключевые слова:** *Phalaenopsis; интродукция; феноритмика; репродуктивная биология.*

## Введение

Основной задачей ботанических садов в сохранении биологического разнообразия является комплексное изучение и сохранение генетических ресурсов природной флоры. Особый интерес представляет изучение возможностей сохранения видов, естественное возобновление которых в природе ослаблено или затруднено. К таким видам относятся представители семейства *Orchidaceae* Juss. тропических и субтропических широт. Интродукция растений тропической и субтропической флоры в ботанические сады позволяет проводить всестороннее изучение биологии роста и развития видов, а также разрабатывать способы их ускоренного размножения. Изучение репродуктивной биологии орхидных является важной предпосылкой сохранения тропических орхидей в культуре. Содержание тропических орхидей в искусственных условиях и применение методики экспериментального опыления дают возможность нивелировать целый ряд факторов, лимитирующих эффективность репродукции растений в природе, прежде всего таких, как наличие опылителей [1] и дефицит ресурсов [2]. Экспериментальное опыление позволяет манипулировать такими показателями, как время опыления

цветка, его положение на цветоносе и т.п. Кроме того, содержание растений в условиях оранжерейной культуры позволяет контролировать параметры (уровень влажности, температура, освещенность), в значительной степени влияющие на репродуктивный успех даже после эффективного опыления.

Цель наших исследований – изучение биологических особенностей видов рода *Phalaenopsis* Blume при выращивании в оранжереях Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (СибБС ТГУ).

## Материалы и методики исследования

В СибБС ТГУ созданы уникальные для северных широт мира коллекционные фонды тропических и субтропических растений, насчитывающие 1 800 видов, относящихся к 504 родам и 145 семействам [3, 4]. Семейство *Orchidaceae* Juss. представлено 105 видами, относящимися к 45 родам. Род *Phalaenopsis* Blume насчитывает 4 вида: *Ph. amabilis* (L.) Blume, *Ph. equestris* (Schauer) Rchb. f., *Ph. lueddemanniana* Rchb. f. и *Ph. hybridum*.

Фаленопсис в переводе с греческого означает «подобный бабочке». Своим названием род обязан голландскому ботанику Блюме, обнаружившему эти растения в 1825 г. на одном из островов Малайского архипелага [5]. На своей родине фаленопсисы ведут эпифитный образ жизни, поселяясь чаще всего в защищенных от палящих лучей солнца кронах деревьев, растущих по краю влажных дождевых лесов, на высоте 200–400 м над ур. м. Фаленопсисы – растения с крайне ограниченным ростом и прикорневой розеткой из 3–4 двурядно расположенных листьев. Цветки по форме напоминают бабочку, собраны в большие многоцветковые кисти на длинных изогнутых цветоносах. Род насчитывает 40–70 видов, распространенных в низовьях влажных лесов (не выше 300–500 м над ур. м.) тропической Юго-Восточной Азии от Индии, островов Малайского архипелага и Филиппин до Новой Гвинеи и Северной Австралии [6, 7].

*Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume – фаленопсис приятный (рис. 1), родом из Северо-Восточной Австралии, Новой Гвинеи, растет в дождевых тропических лесах, вдоль морских побережий, иногда на мангровых деревьях или на ходульных корнях панданусов. Листья в числе 3–4 обратнояйцевидно-продолговатые, длиной до 30 см, темно-зеленые. Цветки крупные, около 7,5–10 см в диаметре, белые.

*Phalaenopsis equestris* (Schauer) Rchb.f. – фаленопсис эквестрис, или конный (рис. 2). Родиной данного вида является Юго-Восточная Азия. Листья удлиненно-эллиптические, 7–10 см длиной и 3–5 см шириной. Соцветие – многоцветковая кисть. Цветки мелкие, 3–4 см в диаметре, сиреневато-розовые. Цветки располагаются двумя супротивными рядами, соцветие состоит из 5–11 цветков.

*Phalaenopsis lueddemanniana* Rchb.f. – фаленопсис Люддемана (рис. 3). Родиной данного вида являются Филиппины. Листья продолговатые в ко-

личестве 5–6 шт., длиной 10–20 см. Цветонос обычно не длиннее листьев, несет 5–7 небольших цветков 4–5 см в диаметре, с многочисленными поперечными аметистово-пурпурными, а в верхней половине иногда бледно-желтыми или каштановыми полосами на белом фоне. Цветки раскрываются поочередно.

Рис. 1. *Phalaenopsis amabilis* (L.) Blume

Рис. 2. *Phalaenopsis equestris* (Schauer) Rchb.f.

Рис. 3. *Phalaenopsis lueddemanniana* Rchb.f.

Рис. 4. *Phalaenopsis hybridum* «Danse Gessica»

*Phalaenopsis hybridum* «Danse Gessica» – садовый гибрид (рис. 4). Листья удлиненно-эллиптические, расположены на стебле двумя супротивными рядами, темно-зеленые, мясистые. Соцветие – многоцветковая кисть. Цветки крупные, 7–11 см в диаметре, насыщенного розового цвета, от 5 до 9 цветков в соцветии.

Вышеперечисленные орхидеи относятся к теплолюбивым видам. В оранжереях сада они содержатся при колебаниях температур в зимний период от 18 до 24°С и интенсивности освещения 7–10 кЛк. Продолжительность светового периода зимой составляет 10–12 ч путем искусственного подсвечивания люминесцентными лампами ЛБ-40.

Фенонаблюдения за исследуемыми видами и биометрические замеры проводили по общепринятой для ботанических садов методике [8]. Стерилизацию плодов осуществляли по методике Г.Я. Степанюк [9]. Подготовку питательных сред и их стерилизацию проводили по методике Т.М. Черевченко [10]. В качестве питательных сред при семенном размножении орхидей *in vitro* были использованы модифицированные среды Мурасиге – Скуга [11] и Кнудсона [12].

Статистическая обработка данных проведена с использованием программных пакетов StatSoft STATISTICA 6.0 и MS Excel 2003. В табл. 1, 2 данные представлены в виде средних арифметических биометрических показателей ± стандартное отклонение по выборке (n = 5 для табл. 1; n = 10 для табл. 2).

Таблица 1

**Характеристика плодов видов рода *Phalaenopsis* Bl., выращиваемых в оранжереях Сибирского ботанического сада ТГУ**

| Вид | Масса плода, г | Длина плода, см | Ширина плода, см | Продолжительность созревания плодов, сут |
|---|---|---|---|---|
| *Phalaenopsis amabilis* | 3,57 ± 0,83 | 4,8 ± 0,6 | 0,9 ± 0,08 | 145,8 ± 3,7 |
| *Phalaenopsis equestris* | 1,68 ± 0,14 | 2,5 ± 0,4 | 0,7 ± 0,03 | 118,2 ± 2,5 |
| *Phalaenopsis hybridum* «Danse Gessica» | 6,62 ± 0,91 | 8,8 ± 1,5 | 1,2 ± 0,11 | 186,4 ± 10,2 |
| *Phalaenopsis lueddemanniana* | 1,52 ± 0,21 | 2,2 ± 0,5 | 0,6± 0,07 | 123,6 ± 3,2 |

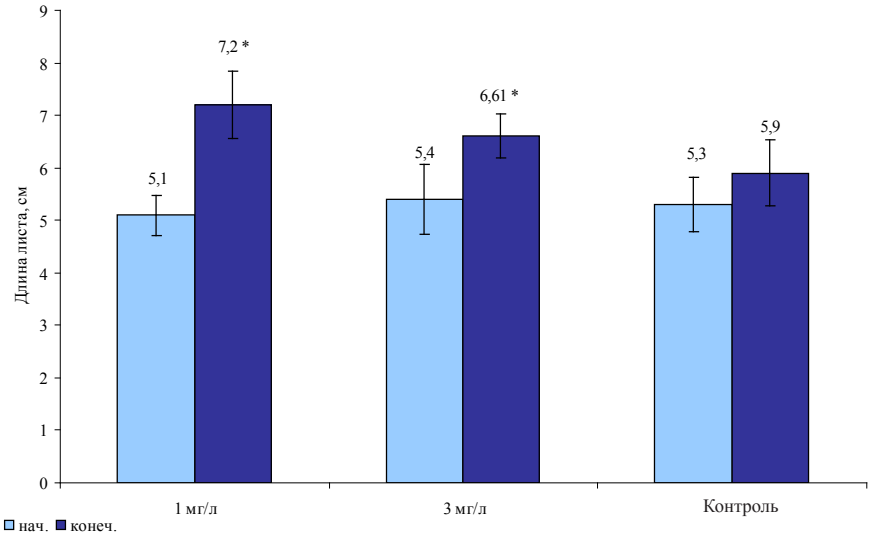
Таблица 2

**Влияние разных субстратов на рост и развитие сеянцев *Ph. hybridum*, выращиваемых в условиях теплицы Сибирского ботанического сада ТГУ**

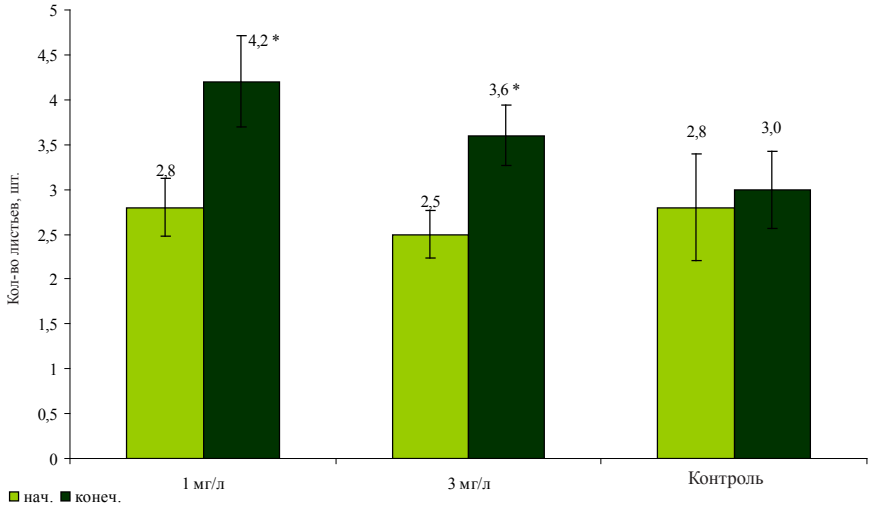
| Вариант опыта | Количество листьев, шт. | Длина листа, см | Высота побега, см | Количество корней, шт. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3,42 ± 0,34 | 3,93 ± 0,51 | 1,13 ± 0,12 | 3,22 ± 0,23 |
| 2 | 2,13 ± 0,47 | 2,85 ± 0,38 | 0,92 ± 0,17 | 2,74 ± 0,35 |

На рис. 5 данные представляют собой средние арифметические биометрических параметров (n = 10) с доверительными интервалами с учетом критерия Стьюдента для 95%-ного уровня значимости [13]. При сравнении групп растений, различающихся по способу обработки оксидатом торфа,

выявили статистически значимые отличия (отмечены звездочкой) изученных параметров по сравнению с контролем ($p < 0,05$) [13].




*А*




*В*

Рис. 5. Влияние оксидата торфа на рост и развитие трехлетних сеянцев *Ph. amabilis* (L.) Blume, выращиваемых в условиях теплицы СибБС ТГУ: *А* – динамика длины листа, см; *В* – динамика количества листьев, шт.

## Результаты исследования и обсуждение

С целью выявления адаптационных особенностей интродуцентов в Сибирском ботаническом саду ведутся работы по изучению сезонных ритмов развития орхидей.

Закладка цветоноса у фаленопсиса приятного наблюдается во второй декаде сентября, рост цветоноса длится до второй декады ноября, в это время наблюдается и окрашивание бутонов. Цветение начинается со второй декады декабря и продолжается до первой декады марта. Длина цветоноса фаленопсиса приятного колеблется от 40 до 60 см, цветки чисто белые до 11 см в диаметре. Продолжительность цветения одного цветоноса колеблется от 60 до 70 дней.

При выращивании фаленопсиса эквестриса и фаленопсиса гибридного в оранжереях СибБС ТГУ закладка цветочных почек наблюдается во второй декаде августа. Рост цветоноса у фаленопсиса эквестриса продолжается до первой декады октября. Окрашивание бутонов происходит в этот же период. Цветение данного вида начинается со второй декады октября и продолжается до середины января. Длина цветоноса фаленопсиса эквестриса колеблется от 15 до 25 см, цветки сиреневато-розовые до 3 см в диаметре. В соцветии насчитывается от 5 до 11 шт. Продолжительность цветения одного соцветия колеблется от 40 до 50 дней. Рост цветоноса фаленопсиса гибридного продолжается до третьей декады ноября, в это время наблюдается и окрашивание бутонов. Высота цветоноса данного вида составляет в среднем 40 см. Цветонос несет обычно от 5 до 9 цветков насыщенного розового цвета. Диаметр цветка обычно составляет 7–9 см. Продолжительность цветения одного цветоноса колеблется от 50 до 70 дней.

Закладка цветоноса у фаленопсиса Люддемана происходит в первой декаде марта, рост цветоноса продолжается по мере распускания цветков по первую декаду июля. Длина цветоноса данного вида фаленопсиса не превышает 10 см, цветки до 3 см в диаметре, белые с яркими коричневато-сиреневыми поперечными полосками. Общее число цветков насчитывает 5–6 шт.

Таким образом, феноритмологические наблюдения показали, что по срокам цветения *Ph. equestris* и *Ph. hybridum* относятся к орхидеям осенне-зимнего периода цветения, *Ph. amabilis* – к орхидеям зимнего периода цветения, а *Ph. lueddemanniana* – к орхидеям летнего периода цветения.

С целью изучения особенностей репродуктивной биологии орхидей и разработки методик их ускоренного воспроизводства проводилось искусственное опыление цветков исследуемых видов. Наиболее благоприятное время опыления цветков с 10 до 12 ч дня. Для этого пинцетом с резиновыми прокладками на концах снимали клювик с отцовского растения так, чтобы не повредить колонку. Затем вынимали тем же пинцетом поллинарий из гнезд и аккуратно наносили на углубленное клейкое место колон-

ки материнского растения, осторожно прижимая к липкой рыльцевой поверхности. У опыленного цветка околоцветник начинал завядать на 2–4-й день после опыления, а разрастание завязи наблюдалось на 5–7-й день, что свидетельствовало об успешном опылении цветка. После успешного оплодотворения образовывались плоды-коробочки. Характеристика плодов исследуемых таксонов представлена в табл. 1.

Из полученных данных следует, что самые крупные плоды и наибольшая продолжительность созревания семян отмечалась у *Ph. hybridum* «Danse Gessica».

После созревания семена высевали на агаризованные питательные среды Мурасиге – Скуга и Кнудсона. Были изучены этапы развития сеянцев. Прорастание семян фаленопсисов наблюдали через 25–30 дней после посева на питательной безгормональной среде Кнудсона с добавлением гумата натрия. Активное деление протокормов наблюдали через 70–80 дней после посева. Образовавшиеся протокормы имели сферическую форму 1,0 ± 0,05 мм в диаметре. Активный рост протокормов наблюдался в течение 10 недель, после чего проводилась пересадка на новые питательные среды. Последующие пересадки осуществляли через каждые три-четыре месяца. Через 80–85 дней после посева наблюдали образование апекса побега. Новые протокормы формировались из клеток субэпидермального слоя первичного протокорма.

В центральной паренхиме протокормы не образовывались [14]. Через 3–4 месяца после пересадки у протокормов начал образовываться апекс побега. Через два месяца после этого начался этап закладки листьев в виде несомкнутых валиков. Развивающиеся листья имели влагалище и листовую пластинку. Через 6–7 месяцев от посева семян начался этап образования корня. Вначале этот процесс напоминал образование меристематических бугорков в пазухах нижних листьев. Увеличиваясь в размерах, молодые корни росли в направлении питательной среды (базипетально). Они имели округлые, блестящие апексы, шнуровидную форму, серовато-зеленую окраску. Иногда корни не погружались вглубь питательной среды, и тогда наблюдали разрастание корней по всей поверхности питательной среды. После образования корней вновь производили пересадку растений на свежую питательную среду.

Через 12–13 месяцев после посева семян сеянцы видов рода *Phalaenopsis* были готовы к пересадке из стерильных условий в промежуточный субстрат, в качестве которого использовали свежий сфагновый мох. При этом молодые растения имели хорошо развитые корневую и побеговую системы с 3–5 листочками. Средняя приживаемость сеянцев фаленопсисов в промежуточном субстрате составила 80,5 ± 14,5%.

Для улучшения всхожести семян посев *in vitro* производился, кроме среды Кнудсона, и на среду Мурасиге–Скуга (МС), безгормональную или содержащую в разных комбинациях фитогормоны. Наблюдения за развиваю-

щимися сеянцами фаленопсисов в коллекции *in vitro* показали, что посев семян на среду МС полного состава с добавлением 1 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП) и 0,5 мг/л α-нафтилуксусной кислоты (НУК) или МС, дополненной 1 мг/л кинетина и 0,5 мг/л НУК, дало хороший эффект для получения крепких сеянцев в более короткие сроки, чем при выращивании только на среде Кнудсона. При этом было отмечено гораздо меньшее загрязнение питательной среды фенольными соединениями, выделяемыми проростками, что также способствовало их росту.

На последней стадии развития проростков перевод их на среду Кнудсона с содержанием гумата натрия, пептона, древесного угля и пониженным содержанием углеводов до 20 г/л способствовал росту корневой системы. Таким образом, проростки фаленопсиса гибридного «Danse Gessica», отличившиеся дружными всходами уже на 7-й день после посева, в среднем через 180 дней уже вступили в фазу стебле- и корнеобразования и были высажены в мох в возрасте 260 дней, сократив период развития *in vitro* на несколько недель, по сравнению с проростками, полученными на среде Кнудсона.

После периода адаптации молодых растеньиц фаленопсисов в сфагновом мхе в течение 13–15 месяцев, производили их пересадку в постоянный субстрат. Для определения оптимального субстрата с целью приживаемости сеянцев фаленопсисов были использованы два варианта: 1) кора сосны, сфагновый мох, верховой торф, древесный уголь в соотношении 1:2:2:0,5; 2) кора сосны, сфагновый мох, древесный уголь в соотношении 3:1:1 (см. табл. 2).

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальным субстратом для приживаемости сеянцев фаленопсиса гибридного, а также фаленопсиса приятного и конского является субстрат первого варианта. Средняя приживаемость сеянцев фаленопсисов в постоянном субстрате составила 75,5 ± 10,3%.

В настоящее время для подкормки растений используются комплексные удобрения, содержащие гуматы, которые оказывают стимулирующее влияние на растения. Регулятор роста растений «Оксидат торфа» представляет собой продукт переработки болотного торфа. Это водорастворимый концентрат темно-коричневого цвета, содержащий 10–15% азота, 70–80% гуминовых веществ и микроэлементы. Применение этого препарата обеспечивает ускорение развития и роста различных культур в открытом и закрытом грунте. Согласно литературным данным, оксидат торфа увеличивает содержание хлорофилла в листьях растений, препятствует их пожелтению, повышает иммунитет растений и устойчивость к болезням и неблагоприятным факторам внешней среды [15].

Поскольку фаленопсисы характеризуются довольно медленным морфогенезом, с целью ускорения их роста и развития исследовалось влияние корневых подкормок оксидатом торфа. В течение 8 месяцев один раз в две

недели сеянцы *Ph. amabilis* (n = 10 в каждом варианте) подкармливали растворами оксидата торфа в концентрации 1 и 3 мл/л. Контролем служили растения, которые поливали обычной водой без добавления этой подкормки (см. рис. 5).

Из полученных данных следует, что оксидат торфа оказывает достоверно ($p<0,05$) положительное влияние на увеличение длины листа и количества листьев у *Ph. amabilis* опытной группы по сравнению с контролем. При этом лучшие результаты были получены при использовании оксидата торфа в концентрации 1 мл/л, что согласуется с тем, что орхидеи нуждаются в подкормках растворами с более низкими концентрациями солей и других питательных веществ, чем требуется растениям других групп [10].

Наряду с семенным размножением *in vitro* нами были опробованы и другие способы ускоренного размножения орхидей. Из четырех исследуемых видов рода *Phalaenopsis* способность к образованию верхушечных побегов-отпрысков, так называемых «живых деток», наблюдалась у двух видов – *Ph. equestris* и *Ph. lueddemanniana.*

Сущность этого способа размножения заключается в следующем: после цветения на цветоносах у фаленопсисов трогаются в рост пазушные почки и из них формируются молодые детки, которые представляют собой миниатюрные растеньица, имеющие несколько листьев и хорошо развитую корневую систему. Таких деток отделяли от материнского растения и пересаживали в постоянный субстрат, минуя этап адаптации в промежуточном субстрате.

У *Ph. equestris* «живых деток» отделяли при наличии у молодых растений двух-трех небольших листьев и нескольких корней. Экспериментальным путем установлено, что с одного цветоноса фаленопсиса конского можно получить 2 деток, а у *Ph. lueddemanniana* – 1 детку в год. Приживаемость деток у данных видов составила 100%. Установлено, что растения, размноженные данным методом, зацветают на второй-третий год жизни.

## Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующее заключение. Изучение феноритмологических особенностей четырех видов рода *Phalaenopsis* Blume, выращиваемых в оранжереях СибБС ТГУ, показало, что *Ph. equestris* и *Ph. hybridum* относятся к орхидеям осенне-зимнего периода цветения, *Ph. amabilis* – к орхидеям зимнего периода цветения, а *Ph. lueddemanniana* – к орхидеям летнего периода цветения. Самым продолжительным периодом цветения, составляющим в среднем 70 дней, характеризуются *Phalaenopsis amabilis* и *Phalaenopsis hybridum* «Danse Gessica».

Отработана методика искусственного опыления цветков орхидей. Получены полноценные семена исследуемых видов. Самый продолжительный период созревания семян и наиболее крупные плоды отмечены для фаленопсиса гибридного и фаленопсиса приятного.

Изучены этапы развития сеянцев фаленопсисов на питательных средах. Оптимальной питательной средой при проращивании семян исследуемых видов является агаризованная питательная среда Мурасиге – Скуга с добавлением 1 мг/л 6-бензиламинопурина или кинетина и 0,5 мг/л α-нафтилуксусной кислоты.

Установлено, что на стадии развития проростков перевод культуры на питательную среду Кнудсона способствует развитию более мощной корневой системы. Полученные таким образом молодые растеньица *Phalaenopsis* готовы к высадке в промежуточный субстрат через 250–270 дней после посева на питательные среды. Установлено, что средняя приживаемость сеянцев фаленопсисов приятного и гибридного в промежуточном субстрате составила 80,5 ± 14,5%.

При исследовании влияния разных составов постоянного субстрата на приживаемость сеянцев фаленопсисов выявлен оптимальный вариант, а именно смесь коры сосны, сфагнового мха, верхового торфа и древесного угля в соотношении 1:2:2:0,5. Средняя приживаемость сеянцев фаленопсисов в постоянном субстрате составила 75,5 ± 10,3%.

Изучено влияние оксидата торфа на рост и развитие сеянцев фаленопсиса приятного. Установлено, что оптимальной дозировкой для корневых подкормок является концентрация 1 мл/л оксидата торфа. Показана перспективность использования способа ускоренного размножения живыми детками фаленопсиса эквестриса. Растения, размноженные данным способом, зацветают на второй-третий год жизни.

## *Литература*

1. *Melendez-Ackerman E.J., Ackerman J.D., Rodriquez-Robles J.A.* Reproduction in an orchid can be resource limited over its lifetime // Biotropica. 2000. Vol. 32. P. 282–290.
2. *Neiland M.R., Wilcock C.C.* Fruit-set, nectar reward and rarity in the *Orchidaceae* // American Journal of Botany. 1998. Vol. 85, № 12. P. 1657–1671.
3. *Морякина В.А., Степанюк Г.Я.* Интродукция тропических и субтропических растений в Сибири // Тропическое разнообразие. Интродукция растений. СПб., 2003. С.143–144.
4. *Степанюк Г.Я., Смолина В.М., Хоцкова Л.В., Романова С.Б.* Роль Сибирского ботанического сада Томского госуниверситета в сохранении биоразнообразия растений тропической и субтропической флоры // Вестник Киевского национального университета им. Т. Шевченко. Киев, 2009. Вып. 22–24. С. 169–170.
5. *Белицкий И.В.* Орхидеи. М. : Астрель, 2001. 172 с.
6. *Bailey L.H.* The standard encyclopedia of Horticulture. London : Macmilan, 1928. 3639 p.
7. *Hawkes A.D.* Encyclopedia of cultivated orchids. London : Faber and Faber Limited, 1965. 602 p.

8. *Лапин П.И.* Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 28 с.
9. *Степанюк Г.Я.* Размножение тропических и субтропических растений *in vitro* в Сибирском ботаническом саду // Проблемы интродукции растений и отдаленной гибридизации. М., 1998. С. 196–197.
10. *Черевченко Т.М., Кушнир Г.П.* Орхидеи в культуре. Киев : Наукова думка, 1986. 200 с.
11. *Murashige T., Skoog F.* A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15, № 3. P. 473–497.
12. *Knudson L.* Non symbiotic germination of orchid seeds // *Botanical gazette.* 1922. P. 73.
13. *Лакин Г.Ф.* Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
14. *Лаврентьева А.Н., Черевченко Т.М.* Использование различных эксплантатов при размножении *Cymbidium hybridum* // Охрана и культивирование орхидей. Киев : Наукова думка, 1983. С. 88–90.
15. *Касимова Л.В., Перченко Н.А., Глагольев В.П. и др.* Влияние гуминовых препаратов из торфа на урожайность пшеницы // Тезисы II Всероссийской конференции «Гуминовые вещества в биосфере». URL: http://humus.msu.ru/Thesis/097.htm

*Поступила в редакцию 24.04.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 105–117***

doi: 10.17223/19988591/20/9

**Galina J. Stepanjuk, Ljubov V. Khotskova**

*Siberian Botanical Garden of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## BIOLOGICAL FEATURES OF SPECIES OF *Phalaenopsis* Blume AT CULTIVATION IN GREENHOUSES OF THE SIBERIAN BOTANICAL GARDEN

*In the Siberian botanical garden of Tomsk state university (SBG of TSU, Tomsk) the collection funds of tropical and subtropical plants, unique for northern latitudes of the world, numbering 1800 species and relating to 504 genera and 145 families are created. The Orchidaceae Juss. family is presented by 105 species relating to 45 genera. The Phalaenopsis Blume genus totals 4 species: Ph. amabilis (L.) Blume, Ph. equestris (Schauer) Rchb. f., Ph. lueddemanniana Rchb. f. and Ph. hybridum.*

*Phenorythmological features of four species of Phalaenopsis Blume genus at cultivation in hothouses of SBG of TSU are resulted. It is shown that Ph. equestris and Ph. hybridum belong to autumn-winter flowering orchids, Ph. amabilis – winter flowering orchids, and Ph. lueddemanniana – summer flowering orchids. The longest period of flowering, an average of 70 days, is characterized for Ph. amabilis and Ph. hybridum 'Danse Gessica'. The technique of artificial pollination of flowers of these orchids is fulfilled. Filled seeds of studied species are received. The longest period of maturation of seeds and the biggest fruit are noted for Ph. hybridum and Ph. amabilis. The stages of development of Phalaenopsis seedlings on nutrient media are studied. The optimum nutrient medium for germination of seeds of the studied species is the Murashige-Skoog's agar nutrient medium, supplemented with 1 mg/l 6-benzylaminopurine or 1 mg/l kinetin and 0.5 mg/l α-naphthaleneacetic acid. It was established that at the stage of development*

*of seedling a transfer of the culture to Knudson's nutrient medium promotes a stronger seedling root system.*

*Young Phalaenopsis seedlings, obtained in this way, are ready to being planted in an intermediate substrate in 250–270 days after sowing on nutrient medium. It is established that the average survival rate of seedlings of Ph. amabilis and Ph. hybridum in the intermediate substrate was 80.5±14.5%. In the study of the effect of various compounds of the permanent substrate on the survival rate of seedlings the optimum option is found, namely a mixture of pine bark, sphagnum moss, peat and charcoal in the ratio 1:2:2:0,5. The average survival rate of seedlings in a constant substrate was 75.5±10.3%.*

*Influence of peat oxidate on the growth and development of Ph. amabilis seedlings is studied. It is established that an optimal dosage for root fertilizing is a concentration of 1 ml/l peat oxidate. The prospects of using the way of accelerated reproduction by «live children» of Ph. equestris are shown. The plants multiplied by this method blossom when they have their second or third year of life.*

**Key words:** *Phalaenopsis; introduction; phenorythmic features; reproductive biology.*

*Received April 24, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 118–126*

УДК 581.95 (574.3)
doi: 10.17223/19988591/20/10

**И.А. Хрусталева[1], А.Н. Куприянов[1], Г.Ж. Султангазина[2]**

*[1]Институт экологии человека СО РАН (г. Кемерово)*
*[2]Костанайский государственный университет (г. Костанай)*

# РЕДКИЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БУРАБАЙ» (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

*Представлены сведения о распространении в национальном природном парке «Бурабай» (Центральный Казахстан) редких растений, включенных в Красную книгу Казахстана: Adonis vernalis L., Alnus glutinosa (L.) Gaertn., Cypripedium calceolus L., Drosera rotundifolia L., Sphagnum teres (Schimp.) Ångstr. Для каждого приведенного вида растений описывается общий ареал, распространение в Казахстане, данные об условиях произрастания на территории природного парка.*

**Ключевые слова:** *редкие виды; Центральный Казахстан; национальный природный парк «Бурабай».*

## Введение

Обширные пространства Центрального Казахстана представляют собой мелкосопочник – невысокие, сильно расчлененные горные массивы, возвышающиеся над сглаженной поверхностью мезозойского пенеплена, сформированного на обширном Казахском щите [1]. Вся территория расположена в степной подобласти Голарктики. На Кокчетавской возвышенности, расположенной в северной части Центрального Казахстана, в силу особенностей рельефа и микроклимата создались условия для сохранения бореальных элементов голарктической флоры, что вызывает постоянный интерес у ботаников. Эта территория представлена гранитными низкогорьями с большим количеством озер, вокруг которых сформировались сосновые и березовые леса. Особенно большим флористическим разнообразием обладает территория вокруг оз. Борового. Здесь еще в 1935 г. был создан государственный заповедник [2], в 2000 г. на его бывшей территории образован государственный национальный природный парк «Бурабай».

Эта территория неоднократно посещалась ботаниками [3–5]. З.В. Карамышевой и Е.И. Рачковской [6] подведены итоги ботанических исследований на территории степной части Казахского мелкосопочника и дана подробная характеристика Кокчетавского ботанико-географического округа. Флористическое разнообразие Кокчетавской возвышенности достаточно велико, для территории национального парка «Бурабай» приводится 757 видов растений [7. С. 208], 95 из них отнесены к редким и нуждающимся в охране. Это лишайник *Cladonia rangiferina* (L.) F.H. Wigg., мох *Sphagnum*

*teres* (Schimp.) Ångstr. и 93 вида высших сосудистых растений, из которых 68 – бореальные реликты. Тем не менее современное распространение и состояние популяций этих видов на территории национального парка практически не изучено.

Цель наших исследований – изучение распространения редких и исчезающих растений на территории национального парка «Бурабай».

## Материалы и методики исследования

Флористические исследования, проведенные на территории национального парка «Бурабай» в 2010 г. (май – июнь) и в 2011 г. (июнь) позволили уточнить распространение некоторых редких растений. Собранный материал хранится в гербарии Кузбасского ботанического сада (KUZ), гербарии Костанайского университета и национального парка «Бурабай». Авторы выражают благодарность А.Е. Ножинкову за определение сборов мохообразных. Латинские названия высших растений даны по С.А. Абдулиной [8], названия мохообразных – в соответствии со сводкой «Check-list of mosses of East Europe and North Asia» [9].

## Результаты исследования и обсуждение

*Sphagnum teres* (Schimp.) Ångstr. широко распространен в арктической и бореальной зонах Голарктики, в горах – до Южной Европы, Кавказа, Тибета, Японии [10]. На юго-востоке Западной Сибири растет в мезотрофных осоково-гипновых и осоково-сфагновых топях и мелколесьях бедных низинных и переходных болот, реже – на лесных сфагновых болотах [11]. Очень редкий для Средней Азии и Казахстана вид [12]. В Красной Книге КазССР [13] приводится для гор Каркаралы. П.Л. Горчаковский [5] отмечает этот вид для Боровского лесного массива, в частности для Щучьеозерного торфяника, где он встречался на бугристо-мочажинном болоте. Нами популяция *Sphagnum teres* была обнаружена на берегу оз. Малое Карасье (Карасу), 3-й квартал Бармашинского лесничества. Площадь – около 1 000 м$^2$. Сфагнум образует сплавину по берегу, где поселяются *Comarum palustre* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Thelypteris palustris* Schott, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Carex buxbaumii* Wahlenb., *C. lasiocarpa* Ehrh., *C. limosa* L., *C. loliacea* L., *C. vaginata* Tausch. Здесь же встречаются и другие виды мохообразных: *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr., *Dicranum polysetum* Sw., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., *Polytrichum strictum* Sw., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr., *Sphagnum warnstorfii* Russ., *Tetraphis pellucida* Hedw.

*Cypripedium calceolus* L. Голарктический вид, распространенный в Евразии и Северной Америке. В Казахстане *Cypripedium calceolus* встречается очень редко – в Иртышском и Семипалатинском боровом районах, а также

на Алтае [14]. В.Ф. Семенов [4] отмечает данный вид для Кокчетавской возвышенности. По данным З.В. Карамышевой и Е.И. Рачковской [6], единственный сбор этого вида в пределах Казахского мелкосопочника сделан Игнатовым и Пиотровским в 1902 г. на берегу оз. Катарколь. П.Л. Горчаковским [5] башмачок известняковый отмечен для Боровского лесного массива: в 1,5 км к северо-востоку от пос. Бармашино, в березняке на торфянистой почве, около родника, близ оз. Катарколь.

Нами установлено 6 местообитаний этого вида:

1. В 3 км восточнее пос. Катарколь, 11-й квартал Катаркольского лесничества. Координаты популяции 52,95030° с.ш., 070,52148º в.д., площадь – 100 м$^2$. Популяция расположена в сосново-березовом лесу. Кустарниковый ярус не выражен. В травянистом ярусе доминирует *Rubus saxatilis* L. с проективным покрытием 80%. *Cypripedium calceolus* встречается небольшими рыхлыми группами. В период обследования популяции 3 июня 2011 г. наблюдалось начало цветения.

2. В 3,5 км восточнее п. Катарколь, 4-й квартал Катаркольского лесничества. Координаты популяции 52,98173° с.ш., 070,51619° в.д., площадь – около 1 000 м$^2$. Популяция входит в состав березово-соснового леса. Кустарниковый ярус не выражен, встречаются отдельные экземпляры *Ribes nigrum* L. Общее проективное покрытие травянистого яруса варьирует в пределах 25–32%. На отдельных участках доминирует *Rubus saxatilis*, довольно часто встречаются *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Sanguisorba officinalis* L., *Moneses uniflora* (L.) A. Gray. Обнаружено четыре отдельных локуса *Cypripedium calceolus*, каждый из которых насчитывает шесть, пятнадцать, одиннадцать и четыре куртины. Почти все растения – генеративные, находились в начальной стадии цветения.

3. В 2,5 км на В-С-В от г. Щучинска, в 211-м квартале Бармашинского лесничества. Координаты популяции 52,96242° с.ш., 70,35434° в.д., площадь – 200 м$^2$. *Cypripedium calceolus* произрастает в разреженном осиннике без выраженного кустарникового яруса. Проективное покрытие травянистого яруса 34%. Основной доминирующий вид *Filipendula ulmaria*, кроме него произрастают *Rubus saxatilis*, *Serratula coronata* L., *Sanguisorba officinalis*, *Melica nutans* L. Популяция немногочисленная – найдено всего 7 куртин, две из которых включали генеративные особи.

4. На окраине г. Щучинска, в 216-м квартале Бармашинского лесничества (52,96830° с.ш., 70,27809° в.д.), площадь 10 м$^2$. Три отдельные куртины (все особи генеративные) найдены в пойме ручья с разреженными кустарниковыми зарослями из *Padus avium* Mill., *Sorbus sibirica* Hedl., *Ribes nigrum*, *Rosa majalis* Herrm. Травянистый ярус образуют *Angelica sylvestris* L., *Rubus saxatilis, Equisetum sylvaticum* L., *Filipendula ulmaria*, *Pleurospermum uralense* Hoffm.

5. Местонахождение в 2,5 км на В-С-В от пос. Бурабай, в 15-м квартале Мирного лесничества (53,09061° с.ш., 70,38353° в.д.,), площадь – 1 200 м$^2$.

Популяция находится в березовом лесу. В подлеске единично встречаются *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt и *Ribes nigrum.* В травянистом ярусе доминирует *Rubus saxatilis* с проективным покрытием 20%. *Cypripedium calceolus* встречается группами (всего насчитывается 158 куртин).

6. Еще одно местонахождение *Cypripedium calceolus* нуждается в подтверждении. Несколько особей были обнаружены в июне 2010 г. южнее пос. Бурабай, по восточному берегу оз. Боровое, в 14-м квартале Боровского лесничества. В 2011 г. нам не удалось обнаружить растения. Возможно, они были истреблены, так как находились очень близко от населенного пункта, практически рядом с трассой, соединяющей пос. Бурабай и г. Щучинск.

Исследования показали, что *Cypripedium calceolus* на территории национального парка встречается достаточно регулярно по хорошо увлажненным сосново-березовым, березово-осиновым, осиновым лесам. Обращает внимание куртинное расположение растений, что обусловлено высокой антропогенной нагрузкой на территории всего национального парка. Часть популяций расположена в окр. г. Щучинска в местах интенсивной рекреационной нагрузки. Эти популяции нуждаются в особом внимании и охране.

*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Ареал вида западноевроазиатский – встречается в Северной Африке, Европе, Малой Азии и на Кавказе. На территории Казахстана ольха встречается в значительном отрыве от основного ареала. В Красной книге Казахстана вид приводится для окр. ст. Мартук по р. Илек, у оз. Кошмурун и пос. Тогузакский Кустанайской области, в горах Ерментау, Каркаралы, Баянаул [13]. Ближайшие местонахождения приводятся для юга Курганской области [15].

Местонахождение *Alnus glutinosa* в Боровском массиве на окраине г. Щучинска (пос. Бармашино) в квартале 8 Бармашинского опытного лесного хозяйства подробно описано П.Л. Горчаковским в 1986 г. [5. С. 83]. В глубокой долинке ручья ключевого питания было обнаружено 20 особей в составе болотистого березово-осиново-соснового леса. Почва ортотрофная, поверхность кочковатая. Самые крупные деревья – 6 шт., высота 16–18 м, диаметр на высоте груди 20–24 см, возраст около 60 лет. Остальные деревья моложе и мельче. В подлеске *Ribes nigrum* и *Padus avium*. Травяной покров образуют *Thelypteris palustris*, *Scirpus sylvaticus*, *Lysimachia vulgaris* L., *Urtica dioica* L., *Geum rivale* L., *Equisetum hyemale* L., *Equisetum sylvaticum*, *Equisetum pratense* Ehrh., *Filipendula ulmaria.* Моховой покров состоял из *Pleurozium schreberi* и *Climacium dendroides* (Hedw.) Web. et Mohr. П.Л. Горчаковский указывал, что имелся валежник из старых отмерших экземпляров диаметром 28 см. «Нет сомнений, – писал П.Л. Горчаковский, – в естественном происхождении ольхи в этом пункте. Этот вид занимает здесь характерные для него местообитания с глубоким снежным покровом, постоянным обильным увлажнением ключами, произрастает вместе с обычными для неё спутниками» [5. С. 83].

В настоящее время это местообитание находится недалеко от плотины, перегораживающей ручей, вблизи лесного колледжа, имеющего обшир-

ный дендропарк. По данным последнего лесоустройства участок относится к 216-му кварталу Бармашинского лесничества. Нами обнаружены 13 деревьев ольхи высотой 18–20 м, плодоносящие, входящие в состав заболоченного березово-осиново-соснового леса на площади 1 600 м$^2$. Почвы гидроморфные избыточно увлажненные. Средний диаметр *Alnus glutinosa* на уровне груди 25 см ± 2,4 (*min* 12 см, *max* 36 см). Семенное возобновление не отмечено, пневая поросль многочисленная. В подлеске встречаются в основном заносные растения: *Malus baccata* (L.) Borkh., *Ulmus laevis* Pall., *Sorbus sibirica* Hedl., *Acer negundo* L., *A. campestris* L. Кустарниковый ярус образует *Euonymus europaea* L. 30–40 см высотой с проективным покрытием 40%, встречаются единичные кусты *Ribes nigrum*. Травянистый ярус образуют *Geum aleppicum* Jacq., *Geranium pratense* L., *Vicia sepium* L., *Rubus saxatilis*, *Urtica dioica*, *Chelidonum majus* L., *Mentha arvensis* L., *Ranunculus repens* L., *Humulus lupulus* L., *Angelica sylvestris*, *Solidago dahurica* Kitag. и др.

Обращает на себя внимание полное изменение флористического состава древесных растений подлеска. Увеличение доли чужеродных растений полностью изменило структуру ольховых насаждений. Наиболее агрессивным является *Euonymus europaea*, который активно вытесняет из кустарникового яруса местные виды, образуя плотные заросли. В травянистом ярусе произошло увеличение доли сорных видов. Безусловно, это следствие усиленного антропогенного воздействия на ценопопуляцию *Alnus glutinosa*. Близость Боровского лесного техникума (колледжа), основанного еще в XIX в., и обширного дендропарка вокруг него, существующего около ста лет, вызывает сомнения в естественности популяций *Alnus glutinosa*. С другой стороны, ольха встречается в ближайших горных массивах – горах Ерментау, где имеется 76 га ольховников, и Баянаул – более 500 га ольховников. В горах Каркаралы ольха отмечалась в начале XX в. С.Е. Кучеровской [16, 17], но более сборов не было [18].

*Adonis vernalis* L. Общее распространение – от Европы до Восточной Сибири. В Казахстане встречается в Тобол-Ишимском, Иртышском, Прикаспийском районах и на Алтае [14]. Приводится для Кокчетавского уезда в работе В.Ф. Семенова [4]. П.Л. Горчаковский [5] отмечает *Adonis vernalis* в Имантавском и Боровском лесных массивах. И.Н. Оловянникова [19] в 1943 г. оценивала запасы *Adonis vernalis* в пределах заповедника «Боровое». Она относит адонис к группе лекарственных растений, встречающихся на территории заповедника в относительно больших количествах. На картосхеме [19] приведено 14 местонахождений *Adonis vernalis*. Наибольшее количество местонахождений относится к Золотоборско-Лысогорскому сопочному району. И.Н. Оловянникова [19] отмечает, что большей частью *Adonis vernalis* встречается на пологих склонах восточных экспозиций степных сопок и в зарослях спиреи. Плотность популяций – 4–5 шт./м$^2$, масса 19–20 г сырого веса на 1 м$^2$. Растение внесено в Красную книгу Казахстана [13]; отмечено, что на севере Кокчетавской (Акмолинской) области встречается единичны-

ми особями и небольшими группами. З.В. Карамышева и Е.И. Рачковская [6] при обработке флоры степной части Казахского мелкосопочника этот вид справедливо исключили из списка на том основании, что гербарного материала они не видели.

Нами отмечены следующие местонахождения горицвета весеннего:

– 1 км северо-западнее пос. Золотой Бор, Золотоборское лесничество, 40-й квартал, где *Adonis vernalis* произрастает в составе разреженного березового леса (10 Б). Участок ровный с хорошим увлажнением. Полнота березовых насаждений 0,3. В подлеске единичные кусты *Salix caprea* L. и *Rosa aciculais* Lindl. Травяной покров разнотравно-злаковый. В травянистом ярусе доминируют *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa angustifolia* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Stipa pennata* L. Из разнотравья обильны *Rubus saxatilis*, *Fragaria viridis* Duch., *Galium boreale* L., *Filipendula vulgaris* Moench, *Serratula coronata* L., *Campanula wolgensis* P. Smirn, *Iris sibirica* L. Плотность ценопопуляции *Adonis vernalis* 2–3 шт./м$^2$.

– Окр. пос. Буланды, Буландинское лесничество, 89-й квартал. Здесь *Adonis vernalis* встречается по обширным полянам среди разреженного сосново-березового леса (7С2Б1И). Участок ровный, местами избыточно увлажнен весенними водами. Полнота древостоя 0,4. Среди подлеска одиночные старые кусты *Salix* sp., кустарниковый ярус представлен *Rosa acicularis*, *Lonicera tatarica* L., *Crataegus altaica* Ledeb. ex Loud. Травянистый покров разнотравно-злаковый. В травянистом ярусе доминируют *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Melica nutans*. Из разнотравья обильны *Artemisia sericea* Web. ex Stechm., *Artemisia pontica* L., *Phlomis tuberosa* L., *Seseli libanotis* (L.) Koch, *Stellaria graminea* L., *Rubus saxatilis*, *Lathyrus pisiformis* L., *Filipendula vulgaris* и др.

*Drosera rotundifolia* L. – вид с широким голарктическим ареалом, облигатно связанный в лесной зоне Западной Сибири с торфяными болотами [11]. На юге Западной Сибири одинаково обычен в рямах и топях верховых сфагновых болот. Кроме того, растет в бедных осоково-сфагновых и осоково-гипновых топях переходных и низинных болот, иногда на плоских сфагновых кочках (клумбах) на низинных болотах. В Казахстане росянка круглолистная отмечена в Кокчетавском, Мугоджарском, Тургайском (р. Тургай) районах [14]. В.Ф. Семенов [4] указывал *D. rotundifolia* для Кокчетавского уезда. З.В. Карамышевой и Е.И. Рачковской [6] это растение приводится только для Кокчетавской возвышенности, на моховых болотах. П.Л. Горчаковский [5] указывал, что *D. rotundifolia* в окрестностях Борового встречалась близ оз. Карасьего, Светлого и Щучьего, на сфагновых болотах, в рямах и соврах. Наши исследования подтвердили местонахождение росянки круглолистной по берегам оз. Малое Карасье.

Озеро Малое Карасье (Карасу), Бармашинское лесничество, 3-й квартал, зарастающий берег. Почва торфяно-болотная, переходящая в сплавину. По краю разреженный древостой (сомкнутость 0,3–0,4) из *Pinus sylvestris* L.,

*Betula pubescens* Ehrh., *Salix rosmarinifolia* L., которая ближе к берегу озера заменяется *S. lapponum* L. Росянка круглолистная встречается по моховым сфагновым кочкам (моховым клумбам) из *Sphagnum teres* вместе с *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Thelypteris palustris*, *Phragmites australis, Carex buxbaumii*, *C. lasiocarpa*, *C. limosa, C. loliacea*, *C. vaginata*.

В.Ф. Семенов [4] указывал на нахождение на болотах Кокчетавского уезда и *D. anglica* Huds. в совместном произрастании с *D. rotundifolia*, но нами этот вид пока не обнаружен.

## Заключение

Хотелось бы отметить, что флору национального природного парка «Бурабай» нельзя считать полностью изученной. Приведенные выше сведения о редких и нуждающихся в охране видах парка «Бурабай» далеко не полные. Нахождение многих редких видов нуждается в подтверждении. Целью будущих исследований растительного покрова природного парка «Бурабай» должна стать работа по изучению распространения редких растений и организация мониторинговых исследований, объектами которых будут реликтовые и редкие растения.

## *Литература*

1. *Буланов С.А., Горелов С.К.* Урал, Центральный Казахстан, Средняя Азия // Геоморфологические режимы Евроазии. М. : Медиа-ПРЕСС, 2006. С. 172–203.
2. *Белослюдов Б.А.* Государственный заповедник «Боровое» (естественно-историческая справка) // Труды заповедника «Боровое». Алма-Ата : Типография № 3 Управления полиграфии и издательств при СМ КазССР, 1948. С. 3–13.
3. *Шангин И.П.* Дневные записки в канцелярию Колывано-Воскресенского горного начальства о путешествии по Киргиз-Кайсацкой степи. Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2003. 152 с.
4. *Семенов В.Ф.* Список и таблица распространения дикорастущих сосудистых растений в пределах бывшей Акмолинской области // Труды Сибирского института сельского хозяйства и лесоводства. Омск, 1928. Т. 28, вып. 14. С. 391–462.
5. *Горчаковский П.Л.* Лесные оазисы Казахского мелкосопочника. М. : Наука, 1987. 160 с.
6. *Карамышева З.В., Рачковская Е.И.* Ботаническая география степной части Центрального Казахстана. Л. : Наука, 1973. 278 с.
7. *Иващенко А.А.* Заповедники и национальные парки Казахстана. Алматы : Алматыкытап, 2006. 281 с.
8. *Абдулина С.А.* Список сосудистых растений Казахстана. Алматы : Типография «Стека», 1999. 185 с.
9. *Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al.* Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
10. *Игнатов М.С., Игнатова Е.А.* Флора мхов средней части Европейской России. Т. 1: Spagnaceae–Hedwigiaceae. М. : КМК, 2003. 608 с.
11. *Лапшина Е.Д.* Флора болот юга-востока Западной Сибири. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2003. 296 с.
12. *Маматкулов У.К., Байтулин И.О., Нестерова С.Г.* Мохообразные Средней Азии и Казахстана. Алматы : Институт ботаники и фитоинтродукции МН–АН РК, 1998. 232 с.

13. *Красная* книга КазССР. Ч. 2: Растения. Алма-Ата : Наука, 1981. 240 с.
14. *Флора Казахстана*. Алма-Ата : Наука, 1956–1966. Т. 1–9.
15. *Науменко Н.И.* Флора и растительность Южного Зауралья. Курган : Изд-во Курган. гос. ун-та, 2008. 512 с.
16. *Кучеровская С.Е.* Растительность Каркаралинского уезда // Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1910 году. СПб. : Типография Главного ботанического сада, 1911. С. 95–102.
17. *Кучеровская-Рожанец С.Е.* Очерки растительности района Баян-Аул-Каркаралы // Предварительный отчет о ботанических исследованиях в Сибири и Туркестане в 1914 году. Петроград : Типография Главного ботанического сада, 1916. С. 187–205.
18. *Куприянов А.Н., Михайлов В.Г.* Список растений Каркаралинского национального парка // Ботанические исследования Сибири и Казахстана : сб. науч. трудов. Кемерово : Ирбис, 2007. Вып. 13. С. 5–37.
19. Оловянникова И.Н. Лекарственные и витаминозные растения заповедника «Боровое» // Труды заповедника «Боровое». Алма-Ата : Типография № 3 Управления полиграфии и издательств при СМ КазССР, 1948. С. 62–69.

*Поступила в редакцию 14.09.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 118–126***

doi: 10.17223/19988591/20/10

**Irina A. Khrustaleva[1], Andrej N. Kuprijanov[1], Gulnara J. Sultangazina[2]**

*[1]Kuzbass Botanical Garden of Institute of Human Ecology of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia*
*[2]Kostanai State University, Kostanai, Kazakhstan*

## RARE SPECIES OF PLANTS OF THE NATIONAL PARK «Burabai» (CENTRAL KAZAKHSTAN)

*In the Kokchetav elevation, located in the northern part of central Kazakhstan, due to terrain and climate, conditions were created to preserve the elements of Holarctic boreal flora. This area is represented by granite low hills with lots of lakes, around which there were formed pine and birch forests. Especially great floristic diversity of the area around lake Borovoje. Here in 1935 there was created a state reserve and in 2000 on its former territory there was organized the State National Natural Park «Burabai.» The flora of the national park «Burabai» contains 757 plant species, 95 of them classified as rare and endangered. Floristic studies in the national park «Burabai» in 2010–2011 allowed to specify the distribution of some rare plants. The article presents information on the distribution of rare plants included in the Red Data Book: Adonis vernalis L., Alnus glutinosa (L.) Gaertn., Cypripedium calceolus L., Drosera rotundifolia L., Sphagnum teres (Schimp.) Ångstr. of the national natural park «Burabai» (Central Kazakhstan).*

*Sphagnum teres (Schimp.) Ångstr. forms a quagmire on the bank of the Maloje Karasje (Karasu) covering about 1000 m$^2$.*

*Cypripedium calceolus L. in the national park is found quite regularly in well-moistened pine and birch, aspen-birch and aspen forests. We found six habitat of this species. The part of the populations located in the vicinity of Shuchinsk in areas of intense recreational pressure. These populations need special attention and protection.*

*We examined Alnus glutinosa (L.) Gaertn. habitat, described by P.L. Gorchakovskii in the vicinity of s. Barmashino. There are 13 trees 18–20 m tall, alders, fruiting,*

*making part of the wetland birch-aspen-pine forest, an area of 1600 m2. the attention is drawn to the total change in the floristic composition of woody plants undergrowth. The increase in the proportion of alien plants has completely changed the structure of alder plantation. The most aggressive is the Euonymus europaea, which actively pushes out native species of the shrub layer, forming dense thickets. In the grassy layer there has been an increase in the proportion of weed species.*

*In 1943 I.N. Olovyannikova estimated Adonis vernalis reserves L. within the natural park Borovoje. She refers Adonis to a group of medicinal plants found in the reserve in relatively large quantities and leads 14 locations. Our studies have confirmed the presence of this species in the park «Burabai» at two points: 1 km north-west of the Zolotoj Bor where Adonis vernalis grows in sparse birch forests and in the vicinity s. Bulandy. Here Adonis vernalis occurs in vast meadows of sparse pine and birch forests.*

*Our studies have confirmed the location of the Drosera rotundifolia L. along the lake Maloje Karasje (Karasu). Sundew rotundifolia occurs in sphagnum hummocks of Sphagnum teres with Comarum palustre, Menyanthes trifoliata, Thelypteris palustris and other species.*

**Key words:** *rare species of plants; Central Kazakhstan; national natural park «Burabai».*

*Received September 14, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 127–137*

# ЗООЛОГИЯ

УДК 597.58.591.5
doi: 10.17223/19988591/20/11

**С.Ш. Сулейманов[1], С.Н. Надиров[2], А.П. Азизов[1]**

*[1]Институт зоологии НАН Азербайджана (г. Баку, Азербайджан)*
*[2]Азербайджанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (г. Баку, Азербайджан)*

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПОВЕДЕНИЯ СЕЛЬДЕЙ (*Alosa*) В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

*Представлены результаты горизонтального и вертикального распределения сельдей в зависимости от наличия пищи и гидрологических условий. Изучены особенности поведения сельдей, населяющих западный шельф Каспийского моря, сроки, пути и причины их миграции из Северного в Южный Каспий. Показано, что наряду с исторически развивающимися наследственными приспособлениями на распределение сельдей действует фактор пищи. Установлена зависимость распределения сельдей от горизонтального и вертикального размещения планктона. Основными местами зимовок сельдей у западного побережья Южного Каспия являются районы Куринский камень, о. Сара, Ленкорань и Астара, которые отличаются наибольшим постоянством биомассы планктона и килек, а также гидрологических условий. Однако между распределением сельдей и биомассой кормовых объектов не всегда наблюдается прямая связь. Отмечены станции, где биомасса кормовых объектов (планктон, кильки) высокая, но уловы сельдей небольшие, или наоборот. Установлено, что кроме пищи на распределение влияет комплекс абиотических факторов, особенно течение и температура. Отмечается хорошо выраженная экологическая дивергенция каспийских сельдей.*

**Ключевые слова***: сельди; поведение; распределение; планктон; килька; биомасса; температура.*

### Введение

Морские сельди (каспийский пузанок *Alosa caspia caspia Eichwald*, большеглазый пузанок *Alosa saposchnikowii Grimm* и долгинская сельдь *Alosa braschnikowii braschnikowii Borodin*), относящиеся к роду *Alosa*, – самые многочисленные рыбы Каспийского моря. Ареал этих видов охватывает почти всю акваторию Каспия, кроме залива Кара-Богаз-Гол [1, 2].

Как известно, особенности распространения и поведения рыб, как и других животных, формируются под воздействием абиотических и биотических факторов среды [3, 4]. Сила воздействия этих факторов зависит от биологической значимости организмов в определенный момент. Сведения об этологических особенностях, а также межвидовых и внутривидовых вза-

имоотношениях популяций сельдей, населяющих Каспийское море, в литературе практически отсутствуют. Имеющиеся работы [5–7] либо вовсе не анализируют данный аспект, либо рассматривают на ограниченном материале в качестве второстепенной темы.

Цель исследования – уточнить особенности горизонтального и вертикального распределения сельдей, а также получить новые сведения о поведении сельдей на западном прибрежье Среднего и Южного Каспия.

## Материалы и методики исследования

В Среднем и Южном Каспии на протяжении нескольких месяцев в году концентрируется основная часть популяции сельдей. В данной работе использован материал, собранный в качестве прилова во время комплексных траловых осетровых съемок (совместно с АзНИРХ) зимой (январь – февраль) 2003–2004 гг. и летом (июль – август) 2003–2009 гг. на НИС «Алиф Гаджиев». Рассмотрены результаты тралений, проведенных 24,7-метровым тралом на 55 стандартных станциях Среднего и Южного Каспия на глубинах 10, 25, 50, 75 и 100 м. Проанализирован видовой состав уловов, проведены полный биологический анализ 528 экз. сельдей и массовые промеры около 4320 экз. рыб. Сделан расчет средней биомассы (кг) выловленных сельдей на 30 мин траления (улов на усилие). Собранный ихтиологический материал обработан по общепринятой методике [8]. Конструкция остатка и режим работы используемого трала приведены в работе М.И. Карпюк и др. [9].

Следует отметить, что учетными орудиями лова сельдей на Каспии являются дрифтерные и ставные сети с набором ячеек различного размера, 24,7-метровый донный трал используется для учета распределения осетровых, а сельди, как пелагические рыбы, являются приловом. Уловы этого типа трала не характеризуют в полной мере состав сельдей в изучаемых районах.

При изучении сельдей в море учитывались основные абиотические факторы среды (температура воды, соленость, содержание кислорода, pH, прозрачность, течение и др.) одновременно.

## Результаты исследования и обсуждение

Периодические миграции – массовые передвижения на далекие (абсолютно или относительно) расстояния – имеют важное значение в жизни водных животных, в том числе рыб [3]. Сроки и пути миграции каспийских сельдей на зимовку из Северного в Южный Каспий – исторически развившееся наследственное приспособление, связанное с зимним охлаждением Северного и Среднего Каспия. Проходные и полупроходные сельди еще задолго до охлаждения вод Северного Каспия передвигаются на юг, где находят благоприятные условия среды для своего развития.

Наблюдения ряда лет показывают, что уже в октябре в районах Килязи, о. Жилого и о. Нефтяные Камни (Средний Каспий), когда температура воды еще довольно высокая (17–21°С), начинают подходить бражниковские сельди, а несколько позднее – каспийский пузанок и др. [10]. По данным А.Г. Касымова [11], А.Г. Джалилова [12] и по нашим наблюдениям, эти районы, в особенности о. Жилой и о. Нефтяные Камни, характеризуются в это время высокой биомассой планктона, на котором держатся большие скопления кильки, являющиеся пищей для сельдей. В декабре, несмотря на хорошую кормовую базу и сравнительно высокую температуру воды (11–13°С), сельди отсюда все же уходят на юг. Это передвижение сельдей связано с непостоянством и суровостью гидрологических условий Среднего Каспия в зимний период, по сравнению с Южным Каспием. Здесь же остается зимовать только небольшая часть относительно холодолюбивых особей сельдей (долгинская сельдь и большеглазый пузанок). А.А. Ловецкая [13], изучавшая сравнение распределения килек и бражниковских сельдей в зимнее время в Южном Каспии, установила зависимость последней от районов зимовки килек. По нашим исследованиям, также наблюдается четкая зависимость распределения сельдей от плотности кормовых объектов.

Местами зимовки сельдей у западного побережья Южного Каспия являются районы Куринский Камень, о. Сара, Ленкорань и Астара. Эти районы отличаются наибольшим постоянством биомассы планктона и килек и гидрологических условий (температуры, течения). Значительно меньше отмечаются зимние шторма по сравнению со Средним Каспием. В районах зимовки встречаются все массовые виды сельдей. Основными из них являются каспийский пузанок, саринская сельдь *A.b. sarensis Mikhailovskaja*, а также долгинская сельдь и большеглазый пузанок.

Биотопы пелагических гидробионтов на Каспии являются подвижными и перемещаются в географических координатах.

При сравнении горизонтального распределения сельдей на отдельных станциях с показателями биомассы планктона не всегда наблюдается прямая связь между ними. Встречаются станции, где биомасса планктона высокая, но уловы сельдей небольшие, и наоборот. Однако в зимний и летний периоды наиболее высокие уловы сельдей (от 4,7 кг и выше на траление) все же наблюдались при биомассе планктона выше 40,0 мг/м$^3$ (рис. 1).

Большая зависимость распределения сельдей от биомассы планктона существует и по отдельным районам. Концентрация сельдей осенью и весной в районах о-вов Жилого, Куринский Камень и в Прикуринском районе связана с высокой биомассой планктона и специфичностью распределения гидрологических элементов (течения, температура) [2, 11]. В зимний период (январь – февраль) планктон не является основным фактором географического распределения сельдей, здесь решающую роль играют в первую очередь гидрологические условия. Однако на местах зимовок, где происходит питание сельдей, планктон все же имеет существенное значение.

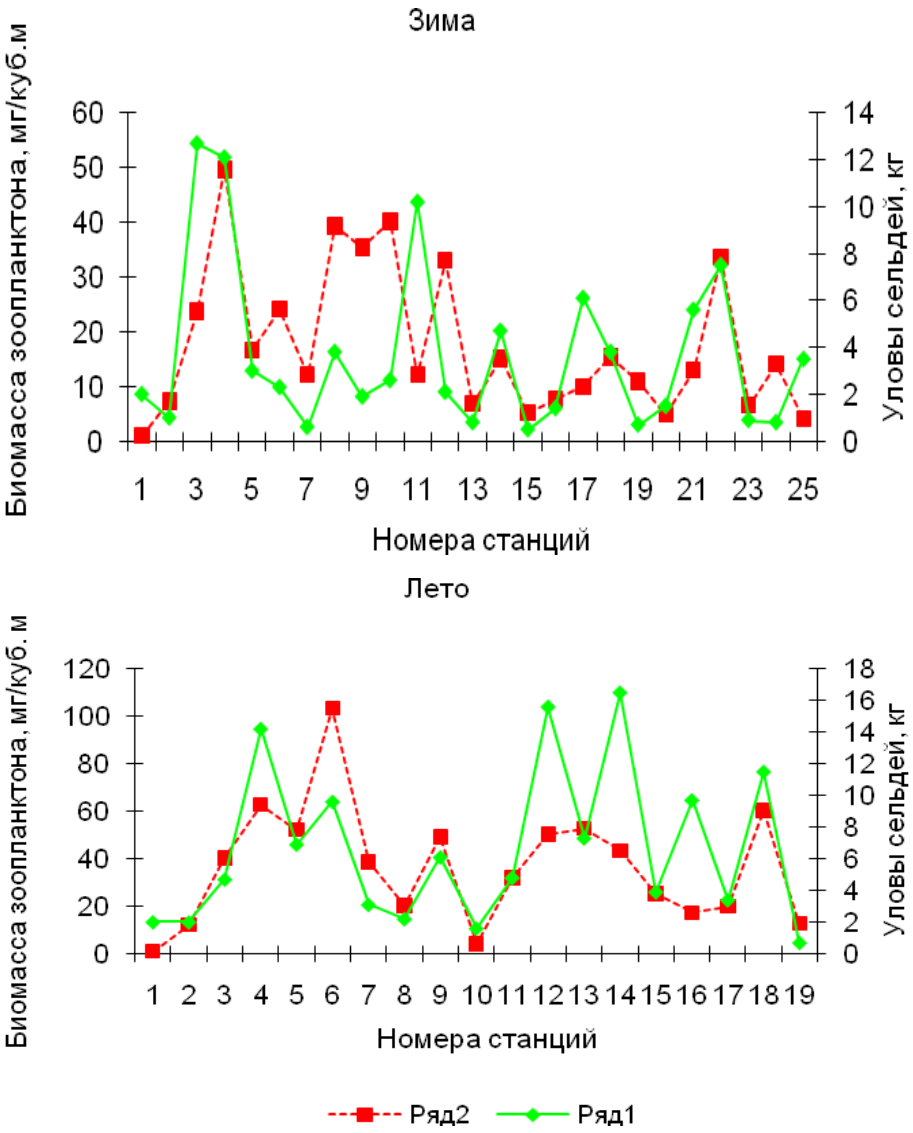



Рис. 1. Зависимость между горизонтальным распределением зоопланктона и уловами сельдей: *1* – уловы сельдей; *2* – распределение зоопланктона

По нашим наблюдениям, в зимний период в районах Астары, Куринской Косы и Зюйд-Остового Култука Южного Каспия при колебании биомассы планктона 10,0–33,6 мг/м$^3$ уловы сельдей составляли 6,1–10,2 кг. В тот же период в районах Кубы и Сиязань Среднего Каспия при колебании биомассы планктона от 23,7 до 39,3 мг/м$^3$ уловы сельдей за счет холодолюбивых видов достаточно высоки и составляли 3,8–13,7 кг.

Между вертикальным распределением сельдей и планктоном также подмечена некоторая зависимость. А.Г. Касымов [11], А.Б. Шукюров [14] и др. отмечают, что в Каспийском море большая часть планктона совершает суточные вертикальные миграции. В дневное время основная часть планктона сосредоточена на больших глубинах, а в вечернее – почти по всем сезонам года наибольшая биомасса планктона отмечена на глубинах до 25 м. Это явление отмечено и нами. Однако следует оговориться, что не на всех станциях существует такая закономерность. Сравнительные данные по вертикальному распределению сельдей и планктона приводятся в табл. 1 и 2. В зимний период (январь) сельди встречаются в значительных количествах во всей толще воды. Но основная часть сельдей (уловы от 3,5 до 12,7 кг) все-таки отмечалась на глубинах 27–50 м. Биомасса планктона на этих глубинах была также высокой, не отмечались и большие колебания температуры воды. Однако встречаются станции, где зависимость между планктоном и уловами сельдей не отмечена. Это, по-видимому, связано с влиянием целого ряда факторов – волнение, течение, температура воды и биологическое состояние особей.

Таблица 1

**Вертикальное распределение зоопланктона и сельдей у западного прибрежья Среднего Каспия в зимний период**

| Координаты | | Улов на трал, кг | Биомасса зоопланктона, мг/м$^3$ | Факторы среды | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Глубина, м | Температура воды, °С | Соленость, ‰ | pH | Прозрачность, м |
| Куба | 41° 15′ / 49° 15′ | 1,0 | 7,3 | 13 | 5,2 | 11,3 | 8,4 | 3 |
| Куба | 41° 22′ / 49° 15′ | 12,7 | 23,7 | 22 | 4,6 | 11,4 | 8,5 | 3 |
| Куба | 41° 22′ / 49° 21′ | 12,1 | 49,6 | 35 | 5,3 | 11,5 | 8,5 | 3 |
| Куба | 41° 15′ / 49° 25′ | 3,0 | 16,7 | 38 | 6,0 | 11,5 | 8,5 | 3 |
| Куба | 41° 22′ / 49° 27′ | 2,3 | 24,1 | 50 | 6,5 | 11,5 | 8,4 | 3 |
| Сиязань | 41° 05′ / 49° 25′ | 0,6 | 12,2 | 25 | 5,8 | 11,4 | 8,4 | 5,0 |
| Сиязань | 41° 05′ / 49° 33′ | 3,8 | 39,3 | 37 | 6,3 | 11,5 | 8,5 | 3,5 |
| Сиязань | 41° 05′ / 49° 45′ | 1,9 | 35,4 | 75 | 7,3 | 11,6 | 8,5 | 4,5 |
| Сиязань | 41° 05′ / 49° 56′ | 0,3 | 11,2 | 83 | 7,0 | 11,6 | 8,5 | 5,0 |
| Килязи | 40° 49′ / 50° 11′ | 2,6 | 40,2 | 50 | 7,1 | 11,5 | 8,4 | 5,0 |

Таблица 2

**Вертикальное распределение зоопланктона и сельдей у западного прибрежья Южного Каспия в зимний период**

| Координаты | | Улов на трал, кг | Биомасса зоопланктона, мг/м³ | Факторы среды | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Глубина, м | Температура воды, °С | Соленость, ‰ | pH | Прозрачность, м |
| Астары | 38° 35′ / 49° 07′ | 10,2 | 22,2 | 50 | 8,6 | 11,7 | 8,3 | 5,0 |
| Ленкорань | 38° 45′ / 49° 11′ | 2,1 | 33,0 | 44 | 8,8 | 11,5 | 8,4 | 5,5 |
| Ленкорань | 38° 45′ / 49° 14′ | 0,8 | 6,9 | 50 | 8,7 | 11,6 | 8,3 | 5,5 |
| Ленкорань | 38° 45′ / 49° 18′ | 4,7 | 15,1 | 60 | 7,8 | 11,5 | 8,4 | 4,0 |
| Кур. Косы | 38° 55′ / 49° 10′ | 0,5 | 5,2 | 13 | 7,3 | 11,3 | 8,5 | 3,5 |
| Кур. Косы | 38° 55′ / 49° 17′ | 1,4 | 7,7 | 21 | 8,4 | 11,4 | 8,4 | 5,5 |
| Кур. Косы | 38° 55′ / 49° 20′ | 5,9 | 10,0 | 45 | 7,8 | 11,5 | 8,4 | 6,5 |
| Кур. Косы | 38° 55′ / 49° 23′ | 3,8 | 15,4 | 63 | 8,2 | 11,6 | 8,4 | 6,0 |
| Кур. Косы | 38° 55′ / 49° 25′ | 0,7 | 11,0 | 75 | 8,0 | 11,6 | 8,4 | 6,0 |
| З.о. Кул-тука | 39° 06′ / 49° 18′ | 1,5 | 4,9 | 10 | 8,0 | 11,3 | 8,6 | 3,0 |
| З.о. Кул-тука | 39° 06′ / 49° 22′ | 5,6 | 13,0 | 25 | 8,7 | 11,3 | 8,5 | 6,0 |
| З.о. Кул-тука | 39° 06′ / 49° 26′ | 7,5 | 32,6 | 46 | 8,6 | 11,4 | 8,4 | 4,5 |
| Н.о. Кул-тука | 39° 33′ / 49° 45′ | 0,9 | 6,6 | 25 | 8,3 | 11,4 | 8,5 | 4,5 |
| Бяндован | 39° 42′ / 50° 05′ | 0,8 | 14,1 | 75 | 7,8 | 11,5 | 8,5 | 6,0 |
| Пирсаат | 39° 52′ / 49° 48′ | 3,5 | 40,2 | 25 | 9,2 | 11,4 | 8,4 | 3,0 |

Ранее многолетними исследованиями [11] установлено, что наибольшая биомасса зоопланктона в Каспийском море наблюдается в летний период, к зиме она уменьшается в несколько раз. Биомасса планктона в Южном Каспии меньше, чем в Среднем. Во время наших исследований наблюдалась такая же закономерность. Средняя биомасса зоопланктона по исследованным нами станциям в Среднем и Южном Каспии летом составила 38,69±5,03 мг/м³, а зимой – 19,90±2,62 мг/м³. В Среднем Каспии биомасса зоопланктона в летний период была равна 47,30±8,64 мг/м³, а в зимние месяцы составила в среднем 25,97±4,24 мг/м³. В Южном Каспии плотность зоопланктона была гораздо ниже: 31,80±5,26 мг/м³ (лето) и 15,86±2,74 мг/м³ (зима).

По нашим исследованиям, распределение сельдей у западного прибрежья Каспия в летний период тесно связано с распределением кормовых объектов. Коэффициент корреляции между уловами сельдей и биомассой летнего зоопланктона составила (r = 0,60), тогда как коэффициент корреляции между этими показателями зимой был ниже (r = 0,48). Сельди после нереста интенсивно питаются, при этом образуют большие скопления в зависимости от распределения килек и планктона в летний и осенний периоды в районах Мухтадыр, Куба и Килязи Среднего Каспия. Такая же картина наблюдается с эндемичной саринской сельдью в районах Ленкорань, Куринская Коса и Зюйд-Остового Култука и Норд-Остового Култука Южного Каспия (табл. 4). Следует подчеркнуть, что Саринская сельдь совершает миграции до района Килязи Среднего Каспия, но в течение большей части своей жизни обитает в Южном Каспии.

Таблица 3

**Вертикальное распределение зоопланктона и сельдей у западного прибрежья Среднего Каспия в летний период**

| Координаты | | Улов на трал, кг | Биомасса зоопланктона, мг/м$^3$ | Факторы среды | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Глубина, м | Температура воды, °С | Соленость, ‰ | pH | Прозрачность, м |
| Мухтадир | 41° 42′<br>48°47′ | 2,0 | 12,1 | 10 | 23,5 | 11,3 | 8,4 | 5,0 |
| Мухтадир | 41° 42′<br>48° 52′ | 4,7 | 40,3 | 25 | 19,5 | 11,5 | 8,4 | 6,0 |
| Мухтадир | 41° 39′<br>49° 01′ | 14,2 | 62,7 | 50 | 13,1 | 11,4 | 8,5 | 6,5 |
| Куба | 41° 22′<br>49° 26′ | 6,9 | 52,1 | 50 | 13,7 | 11.4 | 8,4 | 5,5 |
| Куба | 41° 22′<br>49° 35′ | 9,6 | 103,3 | 75 | 10,8 | 11,6 | 8,6 | 6,0 |
| Сиязань | 41° 05′<br>49° 22′ | 3,1 | 38,6 | 50 | 12,6 | 11,4 | 8,3 | 5,0 |
| Килязи | 40° 49′<br>49° 38′ | 2,2 | 20,2 | 25 | 18,1 | 11,3 | 8,3 | 3,5 |
| Килязи | 40° 49′<br>49° 48′ | 6,0 | 49,1 | 50 | 11,9 | 11,4 | 8,4 | 4,5 |

Следует отметить, что зимой сельди избегают холодных вод и основная масса проводит зимовку в районах с температурой не ниже 8°С, а летом сельди избегают сильно перегретых участков моря с температурой воды выше 25°С. Такое отношение сельдей к температуре воды определяет и характер их распределения по вертикали моря в летние месяцы. Летом (июль – август) сельди держатся в придонных слоях воды, главным образом на глубинах 25–50 м.

Исследования показывают, что температурный скачок в зависимости от района моря отмечается на различных глубинах (не выше 20–25 м), отсюда

и относительно большие концентрации сельдей летом в этих слоях воды. На данном горизонте сосредоточена высокая биомасса планктона и отмечен высокий улов сельдей (от 6,1 до 14,2 кг) (см. табл. 3).

Таблица 4

**Вертикальное распределение зоопланктона и сельдей у западного прибрежья Южного Каспия в летний период**

| Координаты | | Улов на трал, кг | Биомасса зоопланктона, мг/м³ | Факторы среды | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Глубина, м | Температура воды, °С | Соленость, ‰ | pH | Прозрачность, м |
| Астара | 38° 35′ / 48° 54′ | 1,6 | 4,2 | 10 | 25,5 | 11,5 | 8,2 | 4,0 |
| Астара | 38° 35′ / 49° 02′ | 4,8 | 31,9 | 25 | 21,3 | 11,6 | 8,3 | 5,0 |
| Ленкорань | 38° 45′ / 49° 05′ | 15,6 | 50,4 | 25 | 22,5 | 11,5 | 8,4 | 4,5 |
| Ленкорань | 38° 45′ / 49° 10′ | 7,3 | 52,7 | 50 | 15,2 | 12,0 | 8,4 | 4,5 |
| К. Коса | 38° 55′ / 49° 15′ | 16,5 | 43,5 | 25 | 20,1 | 11,5 | 8,3 | 6,5 |
| К. Коса | 38° 55′ / 49° 20′ | 3,9 | 25,2 | 50 | 14,7 | 11,7 | 8,5 | 7,5 |
| З.о. Култука | 39° 06′ / 49° 22′ | 9,7 | 17,3 | 25 | 20,8 | 11,6 | 8,4 | 3,5 |
| З.о. Култука | 39° 06′ / 49° 26′ | 3,4 | 19,9 | 50 | 16,0 | 11,5 | 8,3 | 4,5 |
| Н.о. Култука | 39° 33′ / 49° 35′ | 11,5 | 60,3 | 25 | 19,8 | 11,4 | 8,4 | 4,0 |
| Пирсаат | 35° 52′ / 49° 48′ | 0,7 | 12,6 | 25 | 21,2 | 11,3 | 8,3 | 6,5 |

По данным Н.Л. Чугунова [5], распределение сельдей тесным образом связано с температурой воды. Они очень чувствительны к изменениям температурных условий. Зимой в наиболее теплой части моря, т.е. в Южном Каспии, сосредотачивается основная масса сельдей [2, 15, 16]. В более холодной части моря (Средний Каспий) встречаются наиболее выносливые к температуре, так называемые холодолюбивые виды – долгинская сельдь и большеглазый пузанок [17]. Рассматривая влияние температуры воды на распределение сельдей в облавливаемой тралами зоне воды, мы заметили следующее: в зимний период (январь – февраль) с охлаждением поверхностных вод и значительным перемешиванием водных масс под воздействием сильных штормов устанавливается гомотермия до 50 м глубины. Температурный скачок наблюдается на глубинах ниже 50 м. На перемещение сельдей зимой из одной зоны в другую в первую очередь оказывает влияние течение, вызываемое штормами, с которым большинство рыб встречается в продолжение всей своей жизни [18], а также величина планктона; имеет значение, по-видимому, и свет.

Температурные градиенты в слое воды до 50 м зимой весьма незначительны и вряд ли могут играть какую-либо роль в перемещении сельдей из одной зоны в другую. Однако следует отметить, что теплолюбивые сельди в зимний период на глубинах с температурой ниже 7°С встречаются редко, с весенним же прогревом воды температура оказывает положительное действие на пребывание сельдей в поверхностных горизонтах в связи с ее активным питанием и развитием половых желез.

В летний период (июль – август) температура воды в слое до 50 м глубиной довольно равномерна, резкое падение ее происходит на горизонте 50–75 м. В этом же горизонте в основном уменьшаются биомасса планктона и уловы сельдей в южной части Каспийского моря (см. табл. 4). Температура воды оказывает существенное влияние на географическое распределение сельдей зимой. Наблюдения показывают, что в зимний период существуют большие температурные градиенты между Средним и Южным Каспием. Как видно из табл. 1, средняя температура воды в январе в Среднем Каспии по разрезу Килязи-Куба была 4,6–5,0°С, а по разрезу Астара – Зюйд-Остовый Култук в Южном Каспии – составила 7,3–9,2°С.

## Заключение

Таким образом, анализ результатов траловых съемок показал, что сроки и пути миграции сельдей на зимовку из Северного в Южный Каспий – исторически развивающееся наследственное приспособление. Миграция сельдей в декабре из района Килязи и о. Жилого на юг вызывается суровостью гидрологических условий Среднего Каспия в зимний период, в это время Южный Каспий характеризуется более высокой температурой воды, постоянными и слабыми течениями, хотя кормовая база значительно меньше, чем в Среднем Каспии. Наблюдается зависимость распределения сельдей от вертикального и горизонтального размещения планктона. Сельди предпочитают держаться в районах с высокой биомассой планктона, т.е. в горизонтах воды, наиболее богатых кормовым планктоном.

Осенью и весной сельди держатся преимущественно в верхних горизонтах воды, а зимой, в период сильных штормов, она опускается глубже, в более спокойную зону. В летний период сельди больше всего встречаются на глубинах от 25 до 50 м. Следовательно, пребывание сельдей в летний период на этих глубинах связано как с температурой, так и с кормовой базой.

## *Литература*

1. *Казанчеев Е.Н.* Рыбы Каспийского моря. М. : Легкая и пищ. пром., 1981. 168 с.
2. *Кулиев З.М., Сулейманов С.Ш.* Современное экологическое состояние сельдей (*Alosa*) в Азербайджанском секторе Южного Каспия // Известия НАН Азербайджана. Сер. Науки о земле. 2010. № 4. С. 132–137.

3. *Мантейфель Б.П.* Адаптивное значение периодических миграций водных организмов // Вопросы ихтиологии. 1959. Вып. 13. С. 3–15.
4. *Гирса И.И.* Изменение поведения и вертикального распределения молоди некоторых карповых рыб (Cyprinidae) в зависимости от освещенности и наличия хищника // Вопросы ихтиологии. 1973. Т. 13, вып. 3 (80). С. 535–542.
5. *Чугунов Н.Л.* Морские исследования Всекаспийской экспедиции // Бюллетень Всекаспийской научной рыбохозяйственной экспедиции. 1932. № 5–6. С. 191–213.
6. *Дмитриев Н.А.* К вопросу о миграциях сельди в районе западного побережья Каспия // Рыбное хозяйство. СССР. 1936. № 2. С. 39–41.
7. *Смирнов А.Н.* О поведении сельдей в Каспийском море // Известия АН Азербайджанской ССР. Отдел. биол. и сельхоз. наук. 1946. № 8. С. 55–68.
8. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. пром., 1966. 375 с.
9. *Карпюк М.И. и др.* Методика проведения тралово-акустических и сетных съемок осетровых в Каспийском море // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2005 г. Астрахань : Изд-во Касп. НИРХ, 2006. С. 319–330.
10. *Сулейманов С.Ш.* Биоэкологическая характеристика сельди прибрежных зон Абшеронского полуострова // Труды Зоологического института НАН Азербайджана. 2006. Т. XXVIII. С. 828–835.
11. *Касымов А.Г.* Экология планктона Каспийского моря. Баку : Адилоглы, 2004. 544 с.
12. *Джалилов А.Г.* Динамика численности, биомасса и распределение зоопланктона прибрежных вод Абшеронского полуострова Каспия // Труды Института зоологии НАН Азербайджана. 2006. Т. XXVIII. С. 156–164.
13. *Ловецкая А.А.* Каспийские кильки и их промысел. М. : Пищепромиздат, 1951. 45 с.
14. *Шукюров А.Б.* Суточные вертикальные миграции зоопланктона в западной части Среднего Каспия // Известия АН Азербайджанской ССР. 1987. № 5. С. 81–84.
15. *Кушнаренко А.И.* Экологические основы морского промысла Каспийских сельдей и пути его развития // Вопросы ихтиологии. 1986. Т. 26, вып. 1. С. 48–55.
16. *Сулейманов С.Ш., Надиров С.Н., Ахундов М.М., Кулиев З.М.* Сезонная динамика уловов сельдей на западном прибрежье Южного Каспия // Материалы Третьей международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений». Астрахань : Изд-во КаспНИРХа, 2009. С. 204–207.
17. *Надиров С.Н., Сулейманов С.Ш.* Материал по видовому составу и распределению сельдей на западном прибрежье Среднего Каспия // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология, эволюция и систематика животных». Рязань : НП «Голос губернии», 2009. С. 241–242.
18. *Павлов Д.С., Сбикин Ю.Н., Ващинников А.Е., Мочек А.Д.* Влияние освещенности и температуры воды на критические скорости течения для рыб // Вопросы ихтиологии. 1972. Т. 12, вып. 4. С. 769–778.

*Поступила в редакцию 20.03.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 127–137***
doi: 10.17223/19988591/20/11

**Suleyman Sh. Suleymanov[1], Salamat N. Nadirov[2], Aflatun P. Azizov[1]**

[1]*Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan*
[2]*Azerbaijan Fisheries Research Institute, Baku, Azerbaijan*

## SOME PECULIARITIES OF HERRING (*Alosa*) DISTRIBUTION AND BEHAVIOR IN THE CASPIAN SEA

*The data on herring horizontal and vertical distribution related to food as well as its preferred habitats are presented. The peculiarities of behavior of herrings, inhabiting the western shelf of the Caspian Sea as well as the time and the routs of their migration from the North to the South are studied. It is shown that together with evolutionary adaptations the distribution of herrings is strictly affected by food. The distribution of herrings is related to horizontal and vertical distribution of plankton. There are formed favorable conditions for the supply of herring due to a high density of organisms and a good food supply in pelagic habitats of aquatic organisms, including plankton, mainly sprats. Comparative analysis of distribution of brazhnikov's herrings points out the direct dependence of this phenomenon on the distribution and concentrations of sprats. The main places of wintering of herrings in the western coast of the South Caspian Sea are areas of the Kur Stone i.Sara, Lenkoran and Astara that consistently have the highest biomass of plankton and sprats, as well as hydrological conditions. However, between the distribution of herrings and biomass of food objects there is not always observed a direct relationship. There are stations with high food (plankton, sprats) biomass, but small catch of herring, or vice versa.*

*Besides, some abiotic factors, especially stream and temperature, influence the distribution of herrings. They do not occur in cool water in winter and in warm parts of the sea in summer. When surface waters become cool in winter, there is hemotery at the depth of 50 m. Temperature gradients within this depth are very insignificant and do not affect migration of herrings from one horizon to another. As the temperature jump is expressed at the depth below 50 m, the movement of herrings in winter from one zone to another is primarily influenced by the flow, caused by storms and light, which the majority of fish meet in the course of their life. In winter herrings avoid cold water, and spend this period mainly in areas with a temperature not lower than 8 °C, in summer they avoid very hot spots, with water temperatures above 25 °C.*

*Temperature jumps depending on the specific area of the Caspian Sea are registered at different depths (no more than 20–25°C), hence relatively large herring concentrations in summer in different layers of water. A strictly pronounced ecological detergency of Caspian herrings is recorded.*

**Key words***: herrings; behavior; distribution; plankton; sprats; biomass; temperature.*

*Received March 20, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 138–144*

УДК 613.5(1-21):616-022.9:595.763.51
doi: 10.17223/19988591/20/12

**Н.А. Хрущева, С.Н. Русак, Ю.Э. Русак, А.Н. Паньков**

*Сургутский государственный университет (г. Сургут)*

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕХОВОГО КОЖЕЕДА (*Attagenus pellio* L.) В СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЕ г. СУРГУТА

*Представлены результаты изучения видового состава представителей фауны беспозвоночных животных в домашней пыли селитебной территории г. Сургута. Как показали исследования, в составе бытовой пыли клещи отсутствовали. Однако выявлено значительное количество (порядка 40% случаев) жуков Coleoptera – меховых кожеедов (Attagenus pellio). По результатам исследований был проведен пространственно-территориальный анализ распространения мехового кожееда в составе домашней пыли в сочетании с признаками кожного зуда и кожных проявлений с использованием математических моделей и ГИС-технологий, который выявил четкую взаимосвязь наличия кожеедов и жалоб жителей селитебной территории г. Сургута на кожный зуд и высыпания. Тематические картограммы территориального распространения мехового кожееда в жилой зоне города позволили выделить три категории микрорайонов с различной степенью биологической загрязненности и дали основание считать наличие мехового кожееда в домашней пыли одним из критериев экологического неблагополучия жилых помещений.*

**Ключевые слова:** *домашняя пыль; меховой кожеед; кожный зуд; критерии экологического неблагополучия жилища.*

## Введение

Экологические аспекты окружающей среды составляют объективные и субъективные стороны качества жизни и имеют существенное значение для условий проживания и состояния здоровья человека. Немаловажными факторами окружающей среды являются и санитарно-гигиенические условия жилища человека, в частности присутствие паразитов, влияющих на состояние здоровья человека. Этиологическая роль внутрижилищных аллергенов в возникновении заболеваний очень велика и доказана многочисленными исследованиями [1].

Доминирующую роль в этом играют разнообразные биологические компоненты домашней пыли, способные вызывать аллергические заболевания у человека. Источниками аллергенов в составе домашней пыли могут быть частицы тел членистоногих и продукты их жизнедеятельности. Как известно, важнейшим представителем комплекса аллергенов в составе домашней пыли являются клещи семейства Pyroglyphidae, которые питаются продук-

тами жизнедеятельности человека. Основным источником органических веществ являются естественные «отходы», эпидермальные клетки кожного покрова млекопитающих. Обитают клещи в жилищах людей (спальные места и принадлежности, мебель и т.д.), вызывая сенсибилизацию у лиц, предрасположенных к атопии, что приводит к развитию атопической формы бронхиальной астмы, аллергического ринита и атопического дерматита [2]. Следует отметить, что в Северных регионах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в домашней пыли клещевая фауна отсутствует [3]. Однако высокие показатели аллергических заболеваний позволяют предположить наличие в домашней пыли на Севере иных представителей неклещевой фауны беспозвоночных животных [4].

Цель работы – доказать взаимосвязь наличия кожееда на разных стадиях развития в домашней пыли и развития аллергических заболеваний кожи, что позволит считать наличие этого насекомого одним из критериев экологического неблагополучия жилища.

## Материалы и методики исследования

Объектом исследования явилась селитебная территория г. Сургута: изучался видовой состав представителей беспозвоночных животных в домашней пыли. Всего было обследовано 168 жилых помещений, в которых произведены отбор проб домашней пыли и анкетирование проживающих в этих квартирах людей с жалобами на наличие кожных высыпаний или кожного зуда, а также на наличие насекомых или их личинок.

Метод исследования заключался в проведении анализа проб домашней пыли на наличие беспозвоночных животных и определении видового состава. Учитывая, что в доступной литературе классическая методика отбора домашней пыли для анализа на беспозвоночных животных нами не обнаружена, отбор образцов проводился ручным способом из мест скопления домашней пыли (спальные места, мягкая мебель, бельевые шкафы, гардеробные). Далее в лабораторных условиях проводили усреднение навески собранной домашней пыли. Анализ состава пыли из жилых помещений на присутствие представителей беспозвоночных животных проводился с использованием микроскопа МБС-12 (ОАО «ЛЗОС», Россия). Обнаруженных беспозвоночных животных определяли под микроскопом «Olympus CX-41» («Olympus», Япония) и фиксировали в постоянные препараты в жидкости Фора – Берлезе [5].

Для получения территориально-пространственного распределения беспозвоночных животных в составе домашней пыли в сочетании с признаками кожных высыпаний или кожного зуда у населения в границах селитебной территории был использован программный модуль на базе геоинформационной системы MAPINFO с базовой картографической основой М 1:2000 с нанесенными объектами, жилыми домами, зданиями и сооружениями. Это

позволило получить тематические пространственные картограммы распространения беспозвоночных в различных микрорайонах г. Сургута.

## Результаты исследования и обсуждение

Как показали исследования, в составе бытовой пыли клещи отсутствовали, однако было установлено наличие жуков Coleoptera – меховых кожеедов (*Attagenus pellio* L.) [6]. Существенно, что в пробах домашней пыли у жителей селитебной части г. Сургута меховой кожеед обнаружен в 40,5% случаев из всех обследуемых адресных точек, что указывает на значительный масштаб его распространения.

Клинические проявления аллергодерматозов у жителей, связанных с наличием мехового кожееда в домашней пыли, характеризовались появлением рассеянных зудящих уртикарных и папулезных высыпаний, расчесов, зачастую множественных, в некоторых случаях осложненных пиодермией. Заслуживает внимания тот факт, что наличие кожееда в составе домашней пыли в сочетании с жалобами населения на кожный зуд, а также выраженными кожными проявлениями, сопряженными с присутствием кожееда, имели значительную долю встречаемости – суммарно 30,4%. Случаи обнаружения мехового кожееда в домашней пыли у населения, не сопровождающиеся признаками кожных высыпаний у жителей и отсутствием с их стороны жалоб на кожный зуд, составили 10,1% (рис. 1).

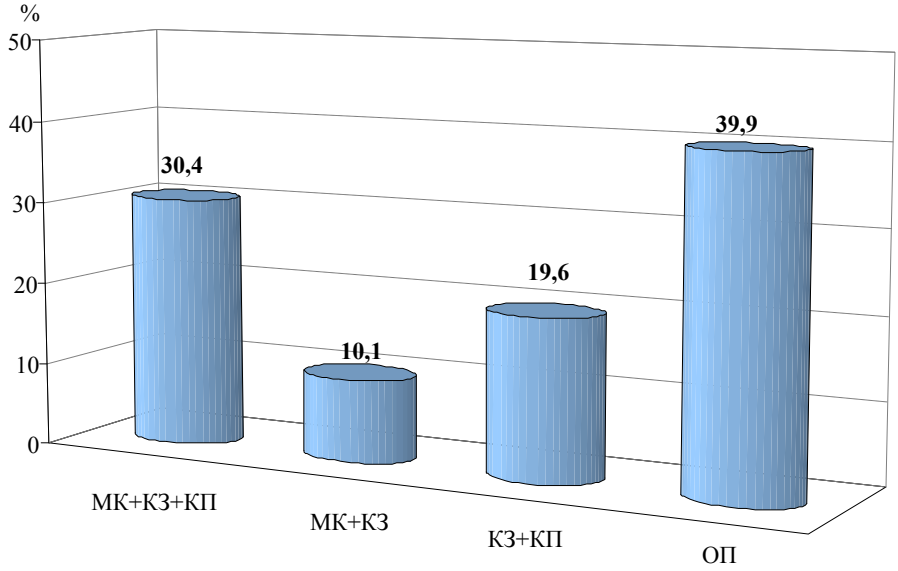



Рис. 1. Структура долевого вклада отдельных признаков, % от общего числа случаев обследуемых проб домашней пыли у населения г. Сургута: МК – наличие мехового кожееда; КЗ – наличие кожного зуда; КП – наличие кожных проявлений (сыпь); ОП – отсутствие признаков МК, КЗ, КП

Следует отметить, что сочетание признаков кожного зуда с кожными проявлениями у жителей, а также жалобы населения на кожный зуд при отсутствии мехового кожееда в составе домашней пыли в целом составили 19,6% от общего числа исследуемых адресных точек, что может быть связано с иными причинами. На рис. 1 приведена структурная диаграмма, отражающая спектр количественных вкладов отдельных признаков и их различные сочетания (%) с наличием или полным отсутствием мехового кожееда в составе домашней пыли.

Как видно из диаграммы, количественная мера фактора встречаемости мехового кожееда в сочетании с кожным зудом и кожными проявлениями (сыпь) у жителей в сумме составляет 40,5% («МК+КЗ+КП» + «МК+КЗ»), что является значительной величиной.

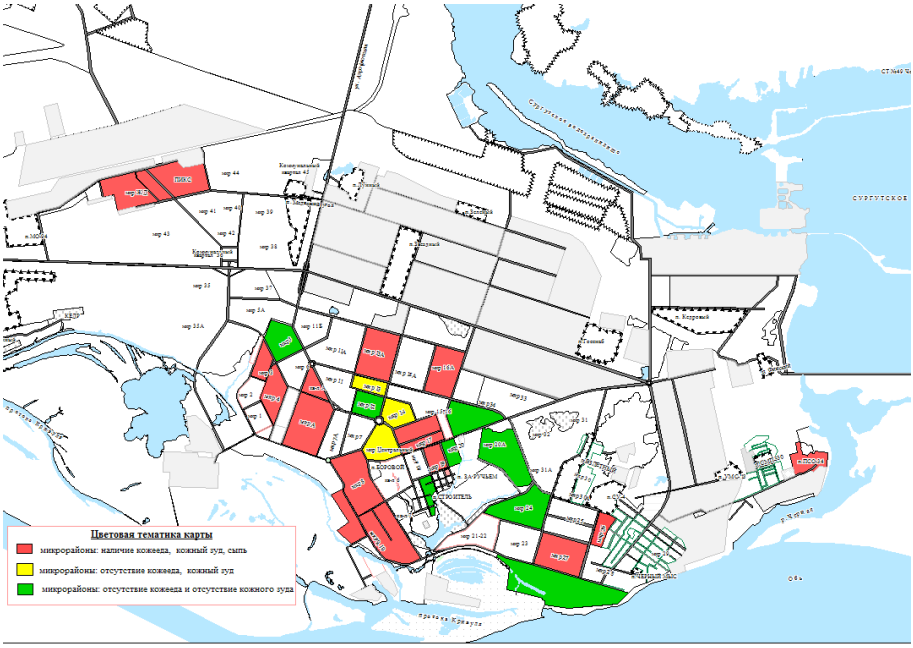



Рис. 2. Картограмма пространственно-территориального распространения мехового кожееда в составе домашней пыли жителей селитебной зоны г. Сургута в сочетании с кожными проявлениями и кожным зудом у населения

По результатам исследований был проведен пространственно-территориальный анализ распространения мехового кожееда в составе домашней пыли в сочетании с признаками кожного зуда и кожных проявлений с использованием математических моделей и ГИС-технологий. Обработка проводилась по специально разработанному модулю стандартной интерполяционной обработки данных. Результат обработки представлен в виде графического слоя в среде MapInfo с тематическими картограммами про-

странственного распространения вышеуказанных признаков – наличие или отсутствие мехового кожееда, а также различные комбинации исследуемых признаков для отдельных микрорайонов города – кожного зуда или кожных проявлений (рис. 2).

Как видно из данной картограммы, в пределах селитебной территории отмечаются отдельные микрорайоны города, где случаи обнаружения мехового кожееда превалируют над остальными признаками; другие микрорайоны характеризуются почти полным его отсутствием; в некоторых микрорайонах отмечалось сочетание всех исследуемых признаков – кожный зуд, кожные проявления, меховой кожеед, отсутствие кожееда.

Анализ картограммы позволяет отметить, что преимущественное распространение мехового кожееда характерно для жилых домов 5-этажной застройки 1970–1980 гг. Однако нередко кожеед обнаруживался в жилых домах более поздних лет застройки – 5- и 9-этажные дома.

Следует особо отметить тот факт, что дома последних лет застройки отличаются отсутствием в составе домашней пыли мехового кожееда, однако признаки кожных проявлений или жалобы жителей на наличие кожного зуда могли иметь место. Данный факт, очевидно, может указывать на другой возможный источник возникновения кожных высыпаний или зуда.

Результаты пространственного распространения мехового кожееда в сочетании с исследуемыми признаками (КЗ, КП) в границах селитебной части г. Сургута позволяют выделить три категории жилых районов:

1. Микрорайоны, в которых обнаружен меховой кожеед. Число этих случаев находилось в интервале значений от 25 до 100% от общего количества исследуемых адресных точек; признак «наличие кожного зуда» для данной категории составлял от 47 до 75% при полном отсутствии случаев «кожеед не обнаружен».

2. Микрорайоны, в которых обнаружен меховой кожеед. Число случаев этого признака находилось в интервале значений 12–43% от общего количества; признак «наличие кожного зуда» для данной категории изменялся от 0 до 50%; признак «кожеед не обнаружен» характеризовался интервалом значений от 13 до 71%.

3. Микрорайоны, в которых признак «наличие кожного зуда» для данной категории варьировал в пределах от 0 до 100%; признак «кожеед не обнаружен» характеризовался интервалом значений от 50 до 100%; признак «меховой кожеед» отсутствовал.

## Заключение

Получена объективная экологическая картина пространственно-территориального распространения мехового кожееда и подтверждена его взаимосвязь с наличием кожного зуда и высыпаний у жителей в границах селитебной территории г. Сургута.

Выделено три категории микрорайонов с различной степенью биологической загрязненности благодаря территориальному распространению мехового кожееда в жилой зоне г. Сургута.

Наличие мехового кожееда в домашней пыли на разных стадиях развития является одним из критериев экологического неблагополучия жилых помещений.

## *Литература*

1. *Суровенко Т.Н.* Сенсибилизация к клещам домашней пыли и ее роль в развитии аллергического воспаления дыхательных путей при бронхиальной астме и аллергическом рините : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2005. С. 42.
2. *Петрова Т.И.* Сенсибилизация к аллергену из тараканов *Blattella germanica* у детей с аллергическими заболеваниями // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 1999. № 6. С. 87–88.
3. *Русак Ю.Э., Паньков А.Н., Панькова Т.Д., Бушмелева Н.А.* Меховой кожеед как возможная причина заболеваний кожи // Развитие научных исследований на медицинских факультетах университетов России : материалы I Всерос. конф. М., 2001. С. 134–136.
4. *Русак Ю.Э., Паньков А.Н., Шкарупа Н.А., Иванюк О.А.* Некоторые особенности биологии мехового кожееда // Актуальные вопросы дерматовенерологии : материалы XVI краевой науч.-практ. конф. Красноярск, 2006. С. 145–146.
5. *Бызова Ю.Б., Гиляров М.С., Дунгер В.В.* Количественные методы в почвенной зоологии. М., 1987. 120 с.
6. *Шкарупа Н.А., Паньков А.Н., Мирошниченко А.Е., Русак Ю.Э.* Зоонозный фактор и аллергические заболевания кожи // Сборник научных трудов биологического факультета. Сургут, 2008. Вып. 4. С. 100–106.

*Поступила в редакцию 18.04.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 138–144***

doi: 10.17223/19988591/20/12

**Natalia A. Khrushcheva, Svetlana N. Rusak,**
**Yuri E. Rusak, Alexandr N. Pankov**

*Surgut State University, Surgut, Russia*

# ECOLOGICAL ASPECTS OF TERRITORIAL DISTRIBUTION OF A FUR CARPET BEETLE (*Attagenus pellio*) IN SURGUT RESIDENTIAL AREA

*Ecological factors of the environment consist of both objective and subjective sides of life quality and are essential for living conditions and human health. The sanitary and hygienic conditions in human house are important environmental factors, in particular, the presence of parasites affecting health. Numerous biological components of house dust play a dominant role in causing allergic diseases in humans. The parts of arthropods and products of their activity may be the source of allergens in the house dust. It is known that mites of Pyroglyphidae family are the most important representatives of the complex structure of allergens in house dust. However, in the northern regions of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Ugra mite fauna is not detected in*

*house dust, but high rates of allergic diseases allowed us to suppose the presence of other representatives of non-mites fauna in house dust in the North. The study object was Surgut residential area; we studied the species composition of the invertebrates in house dust. Altogether 168 houses were investigated; we took samples of house dust and interviewed people living there about their complaints of skin rash or itching, as well as the presence of insects or their larvae. The method of investigation was to analyze the samples of house dust on the availability of the invertebrates and determine the species composition. The studies showed that mites were absent in the house dust, however, the existence of Coleoptera-fur carpet beetle (Attagenus pellio) beetles was established It is essential that fur carpet beetles were found in about 40% of cases in the samples of house dust from Surgut residential population. The experimental results in combination with the chosen approach applying software and hardware complex GIS MAPINFO allowed us to get an objective environmental picture of territorial distribution of fur carpet beetle and to confirm its interrelation with the presence of skin itching and rashes within Surgut residential area. Thematic cartograms of territorial distribution of fur carpet beetle in the residential area of the city allowed us to distinguish three categories of districts with various degrees of biological contamination and allowed us to consider the existence of a fur carpet beetle in house dust to be one of the criteria of ecological problems in houses.*

**Key words**: *indoors factors; house dust; fur carpet beetle; skin itching; the criteria of ecological problem in housing.*

*Received April 18, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 145–161*

УДК 575.86:599.322.2
doi: 10.17223/19988591/20/13

**М.В. Цвирка, В.П. Кораблёв**

*Биолого-почвенный институт ДВО РАН (г. Владивосток)*

# ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ДЛИННОХВОСТОГО СУСЛИКА (*Spermophilus undulatus*) ПО ДАННЫМ RAPD-PCR-АНАЛИЗА

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ДВО РАН (грант № 12-I-П6-02).

*Методом RAPD-PCR-анализа суммарной клеточной ДНК с использованием десяти произвольных олигонуклеотидных праймеров впервые проведено сравнение генетической изменчивости и выяснен уровень генетической дифференциации четырех подвидов длиннохвостого суслика Spermophilus undulatus (Pallas 1773), которые по аллозимным данным относятся к двум разобщенным географическим формам – западной (S. u. eversmanni) и восточной (S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis). Идентифицированы 288 признаков, включая таксон-специфичные маркерные фрагменты для отдельных подвидов, а также для двух географических форм. Рассчитаны значения параметров генетического разнообразия и построены NJ-филогенетическая реконструкция и UPGMA-дендрограмма генетического сходства популяций. Показаны высокий уровень генетической дифференциации западной и восточной форм длиннохвостого суслика (D = 0,24–0,27; p = 0,00) и близость восточных подвидов между собой (D = 0,005–0,008; p = 1,00). Проведена таксономическая оценка их молекулярных различий.*

**Ключевые слова:** *Spermophilus undulatus; RAPD-PCR-анализ; RAPD-маркеры; генетическая изменчивость; внутривидовая дифференциация; филогения.*

## Введение

Длиннохвостый суслик *Spermophilus undulatus* (Pallas 1778) – политипический вид голарктического рода *Spermophilus* (F. Cuvier 1825), населяющий горные и предгорные районы Северо-восточной Азии (от Джунгарского Алатау до Приамурья и Якутии). Широкое географическое распространение обусловило значительную изменчивость фенотипических характеристик входящих в его состав форм. На основании морфологических и биоэкологических особенностей были выделены и описаны 6 современных подвидов длиннохвостого суслика: *S. undulatus undulatus* (Pallas 1778), *S. u. stramineus* (Obolensky 1927), *S. u. eversmanni* (Brandt 1841), *S. u. intercedens* (Ognev 1937), *S. u. jacutensis* (Brandt 1843) и *S. u. menzbieri* (Ognev 1937) [1–3]. Получены обширные данные по географической изменчивости длиннохвостого

суслика по разным системам признаков: морфологическим [4–5] и аллозимным [6]. Показано, что подвиды, распространенные в западной части ареала (*S. u. stramineus, S. u. eversmanni*), отличаются от подвидов из восточной части (*S. intercedens, S. u. menzbieri* и *S. u. jacutensis*), *S. u. undulatus* занимает промежуточное положение между ними. Степень различий между группами западных и восточных подвидов по разным данным достигает уровня полувидов [6] или видов [5].

С развитием и освоением новых молекулярных технологий существенно расширился спектр методов, привлекаемых, наряду с классическими морфологическим и биохимическим подходами, для решения таксономических проблем [7–9]. Одним из доступных методов является полимеразная цепная реакция (PCR) с использованием произвольных праймеров (RAPD – случайно амплифицированная полиморфная ДНК). С её помощью выявляется генетическая изменчивость по множеству независимых признаков, разбросанных по всему геному. Причем в последнее время было показано, что среди продуктов амплификации представлены все типы последовательностей ДНК. Благодаря считыванию информации с разных функциональных участков молекулы ДНК метод RAPD-PCR позволяет выявить «скрытую» генетическую изменчивость и более точно оценить полиморфизм по сравнению с аллозимным анализом [7]. Наряду с положительными сторонами метода существует ряд технически преодолимых сложностей и концептуальных ограничений, которые следует учитывать при работе [10–12]. Несмотря на известные недостатки метода, он остается популярным, успешно применяется в исследованиях систематики животных и наиболее адекватен для внутри- и межвидовых сравнений [13–15]. Перспективность использования RAPD-PCR-маркёров в сравнительных молекулярно-генетических, таксономических и филогенетических исследованиях палеарктических сусликов рода *Spermophilus* показана нами в предыдущих работах [16–20].

Цель настоящей работы – изучить генетическую изменчивость и внутривидовую дифференциацию длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus* с помощью метода полимеразной цепной реакции со случайными праймерами (RAPD-PCR). Использование характеристик ядерного генома позволит на более высоком уровне оценить масштаб географической изменчивости популяций длиннохвостого суслика, определить генетическую структуру и уточнить степень генетической дифференциации подвидов из разных частей ареала.

## Материалы и методики исследования

Материалом для данной работы послужили образцы тканей длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus*: *S. u. eversmanni*, *S. u. intercedens, S. u. menzbieri* и *S. u. jacutensis* из экспедиционных сборов 1992, 2004–2005 гг., а также 1977–1982 гг., исследованные ранее морфометрическими и алло-

зимными методами (табл. 1, рис. 1). Для межвидовых парных сравнений в анализ включили образцы *S. parryi* (Richardson 1825) из того же подрода (*Urocitellus*), что и *S. undulatus,* а также *S. dauricus* (Brandt 1843) и *S. relictus* (Kaschkarov 1923), относящихся к другому подроду *Citellus.* В качестве внешней группы использовали азиатского бурундука *Tamias sibiricus* (Laxmann 1769).

ДНК исследуемых сусликов выделяли по стандартному методу фенольной депротеинизации с использованием протеиназы К и последующим осаждением изопропиловым и этиловым спиртами [21] из свежемороженых и фиксированных в спирте печени и скелетных мышц.

Для анализа использовали 10 из 26 предварительно протестированных декамерных олигонуклеотидных праймеров, инициировавших синтез различимых продуктов амплификации (OPA–02, OPC–02, OPC–05, OPC–09, OPC–10, OPC–12, OPC–16, OPC–20, OPD–05, OPE–20, «Operon Technologies Inc.», США). Во избежание методических ошибок предварительно проводили оптимизацию условий PCR-реакции с каждым праймером: уточняли активность Taq-полимеразы, подбирали оптимальную концентрацию ионов магния $Mg^{2+}$ и количество ДНК-мишени.

Таблица 1

**Характеристика использованного материала**

| № места сбора | Вид / подвид | Число особей (n) | Место сбора |
|---|---|---|---|
| 1 | *S. undulatus intercedens* | 4 | РФ, Читинская обл., Ононский р-н, с. Верхний Цасучей (долина р. Онон) |
| 2 | -//- | 1 | Там же, Читинский р-н, станция «Новая» (60 км на восток от Читы) |
| 3 | *S. u. menzbieri* | 6 | РФ, Амурская обл., Михайловский р-н, окр. с. Безозёрное |
| 4 | *S. u. jacutensis* | 6 | РФ, Якутия, пос. Тулагино (22 км от Якутска) |
| 5 | *S. u. eversmanni* | 1 | РФ, Республика Алтай, Онгудайский р-н, пос. Онгудай |
| 6 | -//- | 1 | Там же, Онгудайский р-н, пос. Каракоп |
| 7 | *S. dauricus dauricus* | 3 | РФ, Читинская обл., Ононский р-н, пос. Усть-Ималка |
| 8 | -//- | 3 | РФ, Читинская обл., Ононский р-н, окр. пос. Усть-Ималка |
| 9 | -//- | 6 | Там же, окр. пос. Усть-Ималка, кордон «Булум» |
| 10 | *S. relictus relictus* | 4 | Узбекистан, Тянь-Шань, Кураминский хр., Ангренское плато, перевал Чапанкуйды |
| 11 | *S. parryi leucostictus* | 3 | РФ, Магаданская обл., Хасынский р-н, окр. пос. Атка |

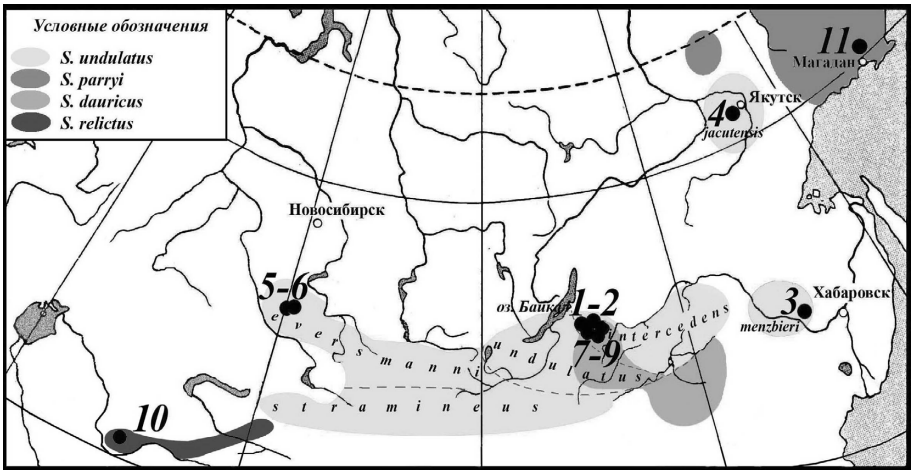



Рис. 1. Видовые ареалы сусликов и места сбора материала в соответствии с табл. 1

Для исключения артефактных полос вследствие образования вторичных структур в праймере или контаминации ставили контрольную пробу с полной амплификационной смесью без добавления ДНК. Воспроизводимость результатов амплификации (идентичность полос в спектрах) проверяли троекратно с праймерами OPC–02, OPC–16, OPD–05 и двукратно с каждым из остальных праймеров.

Полимеразную цепную реакцию (RAPD-PCR) проводили в амплификаторе «BioRad» (США) в следующих условиях: денатурация – 2 мин/94°C, затем 41 цикл: денатурация – 1 мин/94°C, отжиг – 30 сек/37°C, 15 сек/45°C, синтез – 2 мин/72°C. Стадию синтеза на конечном этапе проводили при 72°C в течение 6 мин. Реакционная смесь (25 мкл) содержала 60 нг тотальной ДНК, 1 × буфер (67 мМ трис-HCl, pH 8,8, 2 мМ $MgCl_2$, 0,1% Tween-20, 0,01 М 2-меркаптоэтанол), по 0,2 мМ каждого dNTP, 25 пкмоль праймера, 1 ед. *Taq*-полимеразы.

Продукты амплификации разгоняли электрофорезом в 2%-ном агарозном геле, содержащем 0,5 мкг/мл бромистого этидия в 1× TBE-буфере, в течение 1–1,5 ч до полного разделения фрагментов. В качестве маркера молекулярной массы использовали рестрицированную *Pst* I ДНК фага лямбда (λ) известного размера. Гели фотографировали в отраженном УФ-свете с помощью гель-документирующей системы «BioRad» (США).

Для статистической обработки результатов по электрофореграммам составляли бинарные матрицы «1 – 0» (присутствие – отсутствие фрагмента), учитывая все визуально выявляемые полосы. С помощью программ POPGENE ver. 1.31 [22] и TFPGA-ver. 1.3 [23] рассчитывали параметры генетической изменчивости и дифференциации популяций. Оценку генетической изменчивости проводили по числу полиморфных признаков (*Nn*), частоте

фрагментов (*A*) и доле полиморфных фрагментов в отдельных (*P*) и совокупной выборках ($P_{об}$). Для оценки генетических различий между популяциями использовали индексы сходства *I* ($I=2N_{ab}/(N_a+N_b)$, где $N_a$ и $N_b$ – числа амплифицированных фрагментов у образцов *a* и *b*; $N_{ab}$ – число фрагментов с одинаковой электрофоретической подвижностью), и межпопуляционные генетические дистанции *D* ($D = -\ln I$) [24]. Также проводили точный тест на дифференциацию популяций [23]. Дендрограмма генетического сходства построена посредством невзвешенного парно-группового метода с арифметическим усреднением UPGMA [25]. Филогенетическая реконструкция выполнялась методом ближайшего связывания NJ с бутстрепными оценками степени надежности порядка ветвления [26].

## Результаты исследования и обсуждение

*Описание RAPD-профилей.* В суммарной выборке, включающей все исследованные виды, идентифицировано 288 признаков, в выборке *Spermophilus undulatus* – 141 признак. Число амплифицированных фрагментов в спектрах PCR-продуктов варьировало от 6 до 21. Молекулярный вес фрагментов находился в пределах от 250 пар нуклеотидов (пн) до 2150 пн.

RAPD-спектры продуктов амплификации, полученные с каждым из 10 исследованных праймеров, показали уникальный тип распределения амплифицированных фрагментов. Праймеры OPA–02, OPC–02, OPC–05, OPC–09, OPC–12, OPC–20, OPD–05, OPE–20 инициировали синтез полиморфных, а OPC–10 и OPC–16 – мономорфных профилей у особей длиннохвостого суслика *S. undulatus*. В целом выборки *S. undulatus* имели похожие спектры продуктов амплификации, отличаясь от других видов – *S. parryi*, *S. dauricus* и *S. relictus*. RAPD-профили особей трех восточных подвидов длиннохвостого суслика (*S. u. intercedens, S. u. menzbieri* и *S. u. jacutensis*) оказались наиболее сходными между собой. Особи подвида *S. u. eversmanni* отличались от них набором отдельных фрагментов, что позволяло их идентифицировать визуально (рис. 2, *а–д*). Так, *S. u. intercedens, S. u. menzbieri* и *S. u. jacutensis* имеют одни и те же фрагменты в спектрах PCR-продуктов ДНК (OPA–$02_{1159}$, OPC–$02_{790}$, OPC–$09_{1700}$, OPC–$09_{1230}$, OPC–$09_{301}$, OPC–$09_{253}$, OPD–$05_{1700}$), отсутствующие у *S. u. eversmanni*. В свою очередь, последний подвид имеет наибольшее количество уникальных фрагментов (OPA–$02_{514}$, OPC–$09_{264}$, OPD–$05_{350}$, OPE–$20_{1700}$), отличающих его от трёх других подвидов длиннохвостого суслика. С помощью праймера OPC–02 выявлены фрагменты, маркирующие подвиды *S. u. intercedens* (1843 пн) и *S. u. jacutensis* (2 100 пн) (рис. 2, *б*). Три праймера (OPC–20, OPD–05, OPE–20) показали количественные различия между выборками (подвидами) длиннохвостого суслика, определяемые по яркости отдельных фрагментов. Так, *S. u. menzbieri* отличается от остальных подвидов яркостью фрагмента OPE–$20_{660}$, а *S. u. eversmanni* – «мажорностью» фрагмента OPE–$20_{1260}$. Фрагменты OPC–$20_{920}$

(данные не приведены) и OPD–$05_{1490}$ наиболее ярки сразу у трех выборок из восточной части ареала – *S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis* (рис. 2, *г, д*).

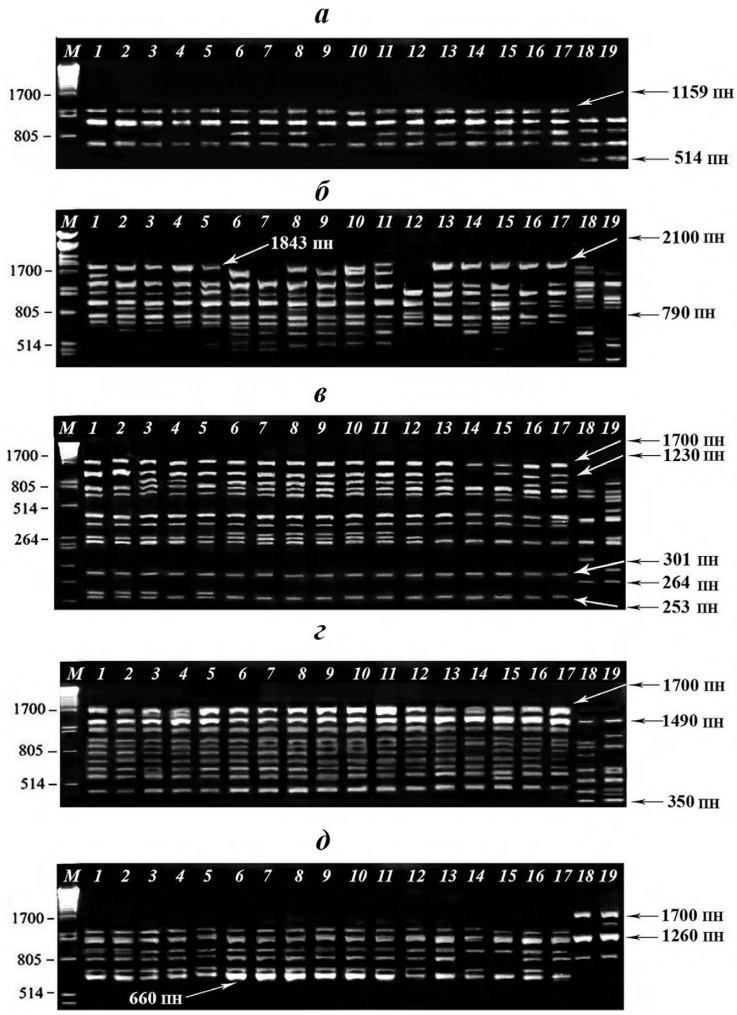



Рис. 2. RAPD-PCR-спектры сусликов: *Spermophilus undulatus intercedens* (дорожки 1–5), *S. u. menzbieri* (дорожки 6–11), *S. u. jacutensis* (дорожки 12–17) и *S. u. eversmanni* (дорожки 18–19), инициированные праймерами OPA–02 (*а*), OPC–02 (*б*), OPC–09 (*в*), OPD–05 (г) и OPE–20 (*д*); *M* – маркер молекулярного веса (*PstI*)

*Генетическая изменчивость и дифференциация.* В табл. 2 представлены параметры генетической изменчивости *Spermophilus undulatus*. Вследствие невысокой изменчивости RAPD-PCR-спектров выборки длиннохвостого

суслика имеют сходные значения частот фрагментов (*A*). В целом по всем праймерам значения данного показателя изменяются в пределах 0,38–0,48. По отдельным праймерам разброс значений несколько шире, например 0,3–0,43 (OPC–02), 0,36–0,63 (OPC–16), 0,35–0,64 (OPE–20). Наибольшие различия по частотам фрагментов (0,11–0,63) между всеми выборками длиннохвостого суслика *S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis, S. u. eversmanni* выявлены с помощью праймера OPC–09.

Таблица 2

**Генетическая изменчивость *S. undulatus* Pallas, 1773, выявляемая с помощью десяти праймеров (141 признак)**

| Прай-мер | Нуклеотидная последовательность (5′–3′) | *N* / *Nn* | $P_{об}$ | *A/P* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *S. u. intercedens* | *S. u. menzbieri* | *S. u. jacutensis* | *S. u. eversmanni* |
| OPA–02 | TGCCGAGCTG | 6/4 | 0,67 | 0,5/0 | 0,61/0,83 | 0,67/0 | 0,67/0,33 |
| OPC–02 | GTGAGGCGTC | 21/21 | 1 | 0,31/0,1 | 0,36/0,48 | 0,3/0,38 | 0,43/0,43 |
| OPC–05 | GATGACCGCC | 20/16 | 0,8 | 0,56/0,15 | 0,5/0,15 | 0,66/0,35 | 0,38/0,05 |
| OPC–09 | CTCACCGTCC | 19/16 | 0,84 | 0,11/0,11 | 0,63/0 | 0,53/0,16 | 0,42/0,32 |
| OPC–10 | TGTCTGGCTG | 16/10 | 0,63 | 0,31/0,31 | 0,29/0,31 | 0,29/0,25 | 0,19/0,13 |
| OPC–12 | TGTCATCCCC | 20/7 | 0,35 | 0,32/0,25 | 0,11/0,1 | 0,21/0,25 | 0,13/0,05 |
| OPC–16 | CACACTCCAG | 14/3 | 0,21 | 0,47/0,07 | 0,63/0,07 | 0,44/0,5 | 0,36/0 |
| OPC–20 | ACTTCGCCAC | 19/19 | 1 | 0,35/0,32 | 0,42/0,21 | 0,26/0,21 | 0,5/0,16 |
| OPD–05 | TGAGCGGACA | 21/19 | 0,9 | 0,58/0,05 | 0,57/0 | 0,57/0,24 | 0,4/0,14 |
| OPE–20 | AACGGTGACC | 10/9 | 0,9 | 0,64/0,1 | 0,63/0,1 | 0,52/0,3 | 0,35/0,1 |
| В целом по всем праймерам | | 16,6/ 13,6 | 0,82 | 0,42/0,15 | 0,48/0,23 | 0,45/0,27 | 0,38/0,17 |

*Примечание. N* – общее число признаков; *Nn* – число полиморфных признаков; *A* – частота фрагментов; $P_{об}$ и *P* – доля полиморфных признаков в совокупной и в отдельных выборках соответственно.

Для выявления внутривидового полиморфизма наиболее эффективными оказались 6 праймеров: OPC–02, OPC–05, OPC–09, OPC–20, OPD–05 и OPE–20 ($P_{об}$ = 0,79–1). Самые низкополиморфные амплификанты были получены с помощью праймеров OPC–12 и OPC–16 ($P_{об}$ = 0–21–0–35). Среднее значение $P_{об}$ для выборки *S. undulatus* в целом, рассчитанное по всем праймерам, составляет 0,82. С помощью показателя генетического полиморфизма (*P*) мы также оценивали внутрипопуляционную изменчивость разных подвидов длиннохвостого

суслика. Значения генетического полиморфизма, рассчитанные по всем праймерам, у подвидов *S. undulatus* в целом низки: близкие значения выявлены для *S. u. jacutensis* и *S. u. menzbieri* (0,27 и 0,23 соответственно), *S. u. eversmanni* и *S. u. intercedens* (0,17 и 0,15 соответственно). Значения данного показателя, выявленные с помощью отдельных праймеров, внутри каждой выборки варьируют незначительно у *S. u. intercedens* (0–0,32), *S. u. jacutensis* (0–0,38) и *S. u. eversmanni* (0–0,43), и более широко – у *S. u. menzbieri* (0–0,83).

Для выявления степени генетической дифференциации между подвидами длиннохвостого суслика и видами *S. parryi*, *S. dauricus* и *S. relictus* были рассчитаны коэффициенты генетических дистанций (*D*) и сходства (*I*) (табл. 3). Наименьшие значения *D* и, соответственно, наибольшие значения *I* обнаружены между двумя популяциями *S. u. intercedens* (0,04 и 0,96). Между подвидами длиннохвостого суслика коэффициенты генетических дистанций изменяются в широком диапазоне от 0,05 (*S. u. intercedens – S. u. menzbieri*) до 0,27 (*S. u. intercedens – S. u. eversmanni*), т.е. различаются более чем в 5 раз, что свидетельствует о разной степени генетической дифференциации подвидов длиннохвостого суслика между собой. Наименьшие значения выявлены между подвидами из восточной части ареала, *S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis,* (0,05–0,08), наибольшие – между подвидом из западной части ареала (*S. u. eversmanni*) с каждым из «восточных» подвидов (0,24–0,27). Значения генетических дистанций между популяциями видов одного подрода *Urocitellus* (*S. undulatus – S. parryi*) изменялись от 0,33 до 0,44, между видами разных подродов *Urocitellus – Citellus* (*S. undulatus – S. dauricus, S. undulatus – S. relictus, S. parryi – S. dauricus* и *S. parryi – S. relictus*) были выше: от 0,37 до 0,59.

Таблица 3

**Генетическое сходство (*I*, выше диагонали) и различия (*D*, ниже диагонали) популяций сусликов рода *Spermophilus* по 288 RAPD-признакам**

| Виды *D/I* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. *S. dauricus* (7) | – | 0,96 | 0,96 | 0,61 | 0,58 | 0,61 | 0,66 | 0,64 | 0,66 | 0,64 |
| 2. *S. dauricus* (8) | 0,04 | – | 0,95 | 0,61 | 0,57 | 0,60 | 0,64 | 0,63 | 0,66 | 0,62 |
| 3. *S. dauricus* (9) | 0,04 | 0,05 | – | 0,58 | 0,55 | 0,58 | 0,62 | 0,62 | 0,65 | 0,63 |
| 4. *S. undulatus intercedens* (1) | 0,49 | 0,50 | 0,54 | – | 0,96 | 0,95 | 0,95 | 0,77 | 0,66 | 0,66 |
| 5. *S. u. intercedens* (2) | 0,54 | 0,56 | 0,59 | 0,04 | – | 0,93 | 0,92 | 0,77 | 0,64 | 0,64 |
| 6. *S. u. menzbieri* (3) | 0,49 | 0,51 | 0,55 | 0,05 | 0,07 | – | 0,94 | 0,77 | 0,66 | 0,65 |
| 7. *S. u. jacutensis* (4) | 0,42 | 0,44 | 0,47 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | – | 0,79 | 0,68 | 0,69 |
| 8. *S. u. eversmanni* (5) | 0,45 | 0,47 | 0,48 | 0,26 | 0,27 | 0,26 | 0,24 | – | 0,69 | 0,72 |
| 9. *S. relictus* (10) | 0,41 | 0,41 | 0,44 | 0,41 | 0,45 | 0,42 | 0,39 | 0,37 | – | 0,66 |
| 10. *S. parryi* (11) | 0,45 | 0,47 | 0,46 | 0,40 | 0,44 | 0,43 | 0,37 | 0,33 | 0,41 | – |

*Примечание.* В скобках указано место сбора в соответствии с табл. 1.

Максимальные значения попарных генетических дистанций, рассчитанных для каждой пары сусликов по общим для них признакам (табл. 4), выявлены между *S. u. intercedens – S. u. eversmanni*, *S. u. menzbieri – S. u. eversmanni, S. u. jacutensis – S. u. eversmanni* (*D* = 0,39–0,41), минимальные – между *S. u. intercedens – S. u. menzbieri* (*D* = 0,06). *S. u. intercedens – S. u. jacutensis* и *S. u. menzbieri – S. u. jacutensis* имеют средние значения данного параметра (0,26 и 0,24 соответственно). Генетические расстояния между двумя географическими формами длиннохвостого суслика (восточной и западной) равняется 0,48, между близкими видами *S. undulatus* и *S. parryi* – 0,53, *S. dauricus* и *S. relictus* – 0,88. Точный тест на дифференциацию с высокой достоверностью (*p* = 0,00) различил две пары подвидов длиннохвостого суслика *S. u. menzbieri – S. u. eversmanni* и *S. u. jacutensis – S. u. eversmanni,* а также восточную – западную формы длиннохвостого суслика и пару видов *S. undulatus – S. parryi*.

Таблица 4

**Параметры генетической дифференциации исследованных выборок сусликов рода *Spermophilus***

| Выборки | | n | *N* | *D* | Точный тест (*p*) |
|---|---|---|---|---|---|
| *S. undulatus* | *intercedens / menzbieri* | 10 | 138 | 0,06 | 1,00 |
| | *menzbieri /jacutensis* | 12 | 141 | 0,24 | 1,00 |
| | *intercedens / jacutensis* | 10 | 143 | 0,26 | 1,00 |
| | *menzbieri / eversmanni* | 8 | 152 | 0,39 | 0,00 |
| | *jacutensis / eversmanni* | 8 | 127 | 0,39 | 0,00 |
| | *intercedens / eversmanni* | 6 | 157 | 0,41 | 1,00 |
| | *формы восточная / западная* | 19 | 141 | 0,48 | 0,00 |
| *S. undulatus / S. parryi* | | 22 | 167 | 0,53 | 0,00 |
| *S. dauricus/ S. relictus* | | 16 | 158 | 0,88 | 1,00 |

На UPGMA-дендрограмме генетического сходства популяций, построенной на основании данных сходства и различия (*I/D*), три подвида длиннохвостого суслика *Spermophilus undulatus – S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis* образовали единую группу, от которой последовательно отделены ветви *S. u. eversmanni, S. parryi* и *S. relictus*. *S. dauricus* образовал самостоятельный кластер и значительно удален от трёх других видов. Внутри основного кластера генетическое расстояние между тремя подвидами *S. undulatus* неодинаково: *S. u. menzbieri* и *S. u. jacutensis* ближе друг к другу, чем к *S. u. intercedens*. Две популяции *S. u. intercedens* наиболее близки. Подвид *S. u. eversmanni,* географически удаленный от других подвидов своего вида, высоко дифференцирован, а его ответвление от основного кластера произошло на уровне, близком к межвидовому узлу.

На NJ-филогенетической реконструкции наиболее близки между собой три восточных подвида длиннохвостого суслика – *S. u. intercedens, S. u. men-*

*zbieri* и *S. u. jacutensis*, западный подвид *S. u. eversmanni* значительно удален от них и образует самостоятельный подкластер со 100%-ной бутстреп-поддержкой (рис. 3).

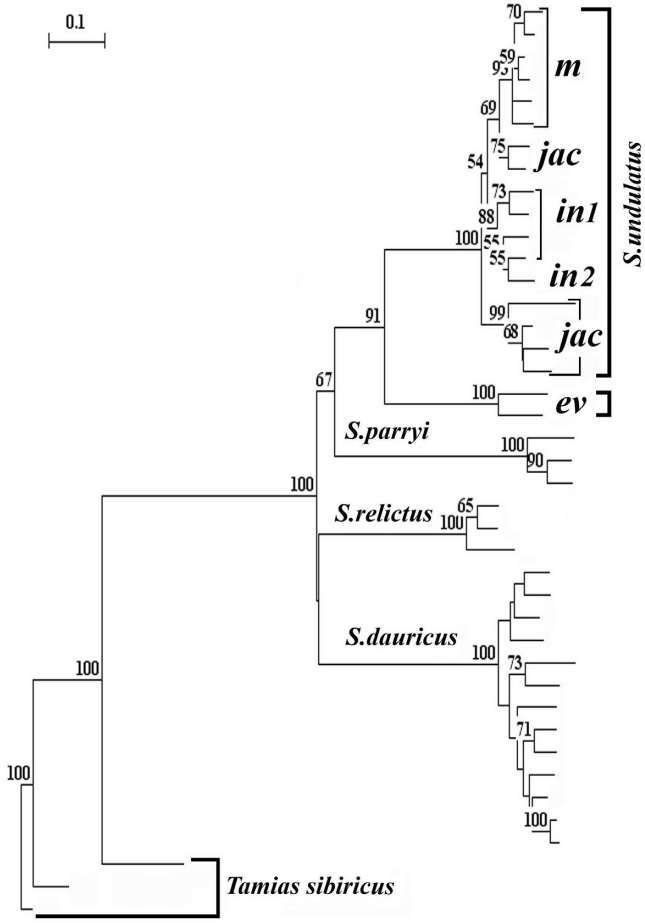



Рис. 3. Филогенетическая реконструкция (NJ) сусликов *Spermophilus undulatus intercedens* (*in1, in2*), *S. u. menzbieri* (*m*), *S. u. jacutensis* (*jac*), *S. u. eversmanni* (*ev*), *S. parryi, S. dauricus* и *S. relictus*, полученная на основе 1 000 бутстреп-репликаций. Указаны значения бутстрепа выше 50%

Длиннохвостый суслик *Spermophilus undulatus* – сравнительно молодой вид голарктического подрода *Urocitellus*, предки которого мигрировали из Северной Америки и заселили Северо-восточную Азию в позднем плиоцене – раннем эоплейстоцене [2, 27]. История расселения и становление ареала длиннохвостого суслика, основанные на хромосомных данных, подробно описаны Н.Н. Воронцовым и Е.А. Ляпуновой [28, 29]. Формирование ареала

и внутривидовая дифференциация *S. undulatus* шли под воздействием климатических изменений, происходивших в позднем плейстоцене. Многократные периодические похолодания способствовали распространению тундростепных биотопов – основному местообитанию длиннохвостого суслика, и широкому расселению данного вида в пределах Северной Евразии. Потепление и увлажнение климата в межледниковые периоды приводили к восстановлению лесистости, регрессу тундростепей, сокращению площадей открытых ландшафтов. Последствия этих изменений – деградация видового ареала, разобщение и исчезновение длиннохвостых сусликов с ряда занимаемых территорий (оптимальные условия для обитания сохранились в горах Алтая, Саян, в Юго-Восточной Сибири и на Дальнем Востоке) – способствовали независимому развитию популяций и накоплению генетических различий между ними.

В настоящее время длиннохвостый суслик распространен на значительной территории Северо-Восточной Азии: в Центральной Сибири и Дальнем Востоке России (от Алтая до Центральной Якутии и Приамурья), Казахстане, Монголии и северо-восточной части Китая. Современный ареал сильно фрагментирован. От основной его части, расположенной в Центральной Сибири и в основном имеющей сплошной характер, отделены множество мелких полуизолированных и изолированных участков в Восточной Сибири и два крупных обособленных участка в Якутии и Приамурье. Интенсивное заселение Сибири и Дальнего Востока, развитие промышленности и хозяйственное освоение земель в XX в. привели к сокращению ареала длиннохвостого суслика и частичному исчезновению этого вида с указанных территорий. В то же время строительство авто- и железнодорожных мостов и магистралей привело к расселению сусликов в местах, недоступных ранее [30]. К сожалению, на данный момент численность и динамика изменения ареала длиннохвостого суслика прослеживается лишь в отдельных регионах России [31–35], и полная картина нам неизвестна.

В современную эпоху процесс формообразования у длиннохвостого суслика продолжается [4–6]. Авторы цитируемых работ увязывали значительную изменчивость морфологических и аллозимных характеристик данного вида с палеогеологическими событиями и его современным географическим распространением, подчеркивая тем самым ведущую роль указанных факторов в микроэволюции данного вида. К этому следует добавить, что заметное влияние на характер генетической и морфологической изменчивости длиннохвостого суслика также оказывают особенности пространственно-этологической структуры популяций вида, динамика его расселения и адаптивные возможности.

У длиннохвостого суслика отмечены клинальный характер изменчивости морфометрических и морфотипических признаков и высокий уровень дифференциации между западными подвидами *S. u. eversmanni, S. u. stramineus* и восточными *S. u. intercedens, S. u. menzbieri*, *S. u. jacutensis* [4, 5, 36]. *S. u. undulatus* занимает промежуточное положение между группами за-

падных и восточных подвидов. Краевые подвиды различаются между собой не менее, чем разные виды *S. undulatus* и *S. parryi* [2, 5]. Прежде некоторые из них были описаны как самостоятельные виды [37, 38]. Кроме того, установлен высокий уровень морфологической дифференциации между восточными подвидами длиннохвостого суслика, в то время как дифференциация между западными подвидами между собой незначительна [4, 36]. Пространственная неравномерность морфологической дифференциации подтверждается иммунологическими данными [39] и особенностями строения зубной системы [40].

Исследования географической изменчивости и внутривидовой дифференциации *S. undulatus* на генетическом уровне были продолжены с помощью электрофоретического анализа водорастворимых белков [4, 6, 41]. В серии указанных работ на основе количественных различий по генетическим вариантам белков крови трансферрина и постальбумина установлены достоверные отличия длиннохвостых сусликов западной (*S. u. stramineus, S. u. eversmanni*) и восточной (*S. u. jacutensis, S. u. intercedens, S. u. menzbieri*) частей ареала. Кроме того, между ними выявлена гибридная зона, охватывающая большую часть ареала *S. u. undulatus* в Забайкалье [4, 6], которая, предположительно, образовалась вследствие вторичного контакта данных форм в ксеротермическую фазу четвертичного оледенения и свидетельствует о незавершенности расхождения исследованных внутривидовых форм. К сожалению, исследования сусликов из гибридной зоны не имели продолжения, что не позволило авторам корректно оценить таксономическую значимость их аллозимных отличий.

В настоящей работе были изучены только 4 подвида длиннохвостого суслика (*S. u. eversmanni, S. u. intercedens, S. u. menzbieri, S. u. jacutensis*) из 6 ныне существующих [2, 3] и исследованных ранее с помощью аллозимного анализа [6]. Тем не менее их географическое распространение охватывает значительную российскую часть видового ареала, и это позволило получить представление о внутривидовой генетической дифференциации *S. undulatus* на основе RAPD-PCR-маркёров. RAPD-PCR-анализ длиннохвостых сусликов из различных участков ареала позволил отличить нам западную (в данной работе представленную одним подвидом, *S. u. eversmanni*) и восточную (*S. u. intercedens*, *S. u. jacutensis, S. u. menzbieri*) формы. Восемь праймеров из десяти (кроме OPC–10 и OPC–16) инициировали амплификацию специфических фрагментов, с помощью которых легко идентифицировать особей этих форм на электрофореграммах. Все проведенные на основе этих данных анализы (распределение частот полиморфных признаков, оценка генетического полиморфизма и генетических дистанций, точный тест на дифференциацию популяций) также дискриминировали эти формы. Однако, несмотря на высокую генетическую дифференциацию данных пар, все же генетические дистанции между ними $D = 0{,}24–0{,}27$ и $D = 0{,}48$ (см. табл. 3 и 4 соответственно) ниже значений, обнаруженных при сравнении высокодифференци-

рованных видов подрода *Urocitellus*: *S. undulatus – S. parryi* (*D* = 0,33–0,44 и *D* = 0,53) и *Citellus*: *S. dauricus – S. relictus* (*D* = 0,41–0,44 и *D* = 0,88) [19, 42]. По результатам аллозимного анализа 14 белковых систем крови генетическая дифференциация западной и восточной форм длиннохвостого суслика (*D* = 0,187–0,192) даже превышает таковую между парами близких видов *S. suslicus – S. odessanus, S. pygmaeus – S. musicus* и близка к наблюдаемой в надвидовой группе *major* [41, 43, 44]. По результатам сравнения последовательностей гена цитохрома b митохондриальной ДНК восточная и западная географические формы длиннохвостого суслика (*D* = 0,116) различаются как высокодифференцированные виды *S. undulatus – S. parryi* (*D* = 0,134) [45].

## Заключение

По нашим данным, подвиды *S. u. intercedens*, *S. u. jacutensis, S. u. menzbieri*, относящиеся к восточной форме, несмотря на пространственную географическую разобщенность, мало отличаются между собой. Высокое сходство RAPD-PCR-профилей, низкие генетические дистанции (*D* = 0,05–0,08), результаты теста на генетическую однородность популяций (*p* = 1,00) и их объединение на NJ-филогенетической реконструкции и UPGMA-дендрограмме генетического сходства мы склонны рассматривать как результат общности их происхождения. Близость подвидов восточной формы между собой поддерживается данными по цитогенетическому анализу сусликов из Читинской (*S. u. intercedens*) и Амурской областей (*S. u. menzbieri*), обладающих идентичными кариотипами [46]. Более тесные родственные связи сусликов «восточной» формы показаны также при сравнении генетических дистанций и полученных по результатам аллозимного анализа (*D* = 0–0,021) [41] и сравнения последовательностей гена цитохрома b митохондриальной ДНК (*D* = 0,022–0,05) [45].

Сравнение значений генетических дистанций, полученных по 288 RAPD-PCR-признакам для популяций (0,04), подвидов (0,05–0,08), географических форм (0,24–0,27) и видов подрода *Urocitellus* (0,33–0,44), показало существование хиатуса между каждым из перечисленных уровней дивергенции (табл. 3). Как видно из приведенных данных, разрыв между значениями двух последовательных уровней подвиды – географические формы более значителен (в среднем в 3 раза), чем между уровнями географические формы – виды (в среднем почти в 1,7 раза).

В целом, характер генетической дифференциации длиннохвостого суслика на молекулярном уровне согласуется с данными морфологического, морфометрического и аллозимного исследований о значительной степени отличий восточной и западной форм. Высокий уровень аллозимной и молекулярной дифференциации географических форм длиннохвостого суслика позволяет с равной долей обоснованности рассматривать их либо в качестве самостоятельных таксонов видового уровня в рамках надвида *S. undulatus,*

либо в рамках единого вида, обладающего максимальной внутривидовой географической изменчивостью. Для решения данного вопроса необходимо провести комплексное исследование гибридной зоны этих форм в Прибайкалье и западной части Забайкалья. В любом случае существующая структура палеарктического вида *Spermophilus undulatus* является результатом продолжающегося процесса видообразования, географические формы которого, по всей видимости, сформировались сравнительно недавно, во время последнего гляциального (ледникового) периода.

*Авторы благодарят д-ра биол. наук, проф., зав. лабораторией цитогенетики Института биологии развития Е.А. Ляпунову и канд. биол. наук, старшего научного сотрудника лаборатории цитогенетики Института биологии развития (г. Москва) О.В. Брандлера за любезное предоставление образцов тканей реликтового и длиннохвостого сусликов, д-ра биол. наук, ведущего научного сотрудника Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН (г. Якутск) Г.Г. Боескорова и младшего научного сотрудника Биолого-почвенного института ДВО РАН (г. Владивосток) Ю.В. Татонову – за помощь в сборе и обработке материала.*

## *Литература*

1. *Громов И.М., Гуреев А.А., Новиков Г.А. и др.* Млекопитающие фауны СССР. Ч. 1. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. 638 с.
2. *Громов И.М., Бибиков Д.И., Калабухов Н.Н., Мейер М.Н.* Фауна СССР. Млекопитающие. Наземные Беличьи (Marmotinae). М. ; Л. : Наука, 1965. Т. 3. Вып. 2. 468 с.
3. *Громов И.М., Ербаева М.А.* Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб. : ЗИН РАН, 1995. С. 104–136.
4. *Vorontsov N.N., Frisman L.V., Lyapunova E.A. et al.* The effect of isolation on the morphological and genetical divergence of populations // Genetica (Neth). 1980. Vol. 52–53. P. 339–359.
5. *Линецкая О.Н., Линецкий А.И.* Видовые различия в характере краниометрической изменчивости у сусликов Восточной Палеарктики (подрод *Urocitellus*) // Современные подходы к изучению изменчивости. Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. С. 99–105.
6. *Фрисман Л.В., Воронцов Н.Н.* Геногеографическая изменчивость длиннохвостого суслика *Citellus undulatus* Pallas // Современные подходы к изучению изменчивости. Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. С. 43–60.
7. *Алтухов Ю.П., Салменкова Е.А.* Полиморфизм ДНК в популяционной генетике // Генетика. 2002. Т. 38, № 9. С. 1173–1195.
8. *Гречко В.В.* Молекулярные маркеры ДНК в изучении филогении и систематики // Генетика. 2002. Т. 38, № 8. С. 1013–1033.
9. *Avise J.C.* Molecular markers, natural history and evolution. N.Y. : Chapman and Hall, 1994. 511 p.
10. *Банникова А.А.* Молекулярные маркеры и филогенетика млекопитающих // Журнал общей биологии. 2004. Т. 65, № 4. С. 278–305.
11. *Lamboy W.F.* Computing genetic similarity coefficients from RAPD data: correcting for the effects of PCR artifacts caused by variation in experimental conditions // Genome Research. 1994. Vol. 4. P. 38–43.
12. *Backeljau T., De Bruyn L., De Wolf H., et. al.* Random amplified polymorphic DNA (RAPD) and parsimony methods // Cladistics. 1995. Vol. 11, № 2. P. 119–130.

13. *Потапов С.Г., Васильев В.А., Самарина О.Г., Рысков А.П.* Молекулярно-генетическое маркирование геномов представителей рода *Phodopus* // Генетика. 1994. Т. 30, № 5. С. 615–621.
14. *Lavrenchenko L.A., Potapov S.G., Lebedev V.S., Ryskov A.P.* The phylogeny and systematics of the endemic Ethiopian *Lophuromys flavopunctatus* species complex based upon random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis // Biochemical Systematics and Ecology. 2001. Vol. 29, № 11. P. 1139–1151.
15. *Wasko A.P., Galletti P.M.* RAPD analysis in the Neotropical fish *Brycon lundii*: genetic diversity and its implications for the conservation of the species // Hydrobiology. 2002. Vol. 474. P. 131–137.
16. *Цвирка М.В.* Генетическое разнообразие, филогенетические связи и систематика палеарктических сусликов рода *Spermophilus* (подроды *Citellus* и *Colobotis*) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток : БПИ ДВО РАН, 2005. 24 с.
17. *Цвирка М.В., Кораблёв В.П., Челомина Г.Н.* Генетическая дифференциация близких видов сусликов *Spermophilus musicus, S. pygmaeus, S. suslicus* (Rodentia, Sciuridae) // Материалы междунар. конф. «Систематика, филогения и палеонтология мелких млекопитающих». СПб. : ЗИН РАН, 2003. С. 228–230.
18. *Цвирка М.В., Челомина Г.Н., Кораблёв В.П.* Генетическая дифференциация, филогенетика и систематика пустынных сусликов подрода *Colobotis* (*Spermophilus:* Rodentia, Sciuridae) // Зоологический журнал. 2006. Т. 86, № 5. С. 629–640.
19. *Цвирка М.В., Спиридонова Л.Н., Кораблёв В.П.* Молекулярно-генетические связи некоторых восточно-палеарктических сусликов рода *Spermophilus* (Sciuridae, Rodentia) // Генетика. 2008. Т. 44, № 8. С. 1108–1116.
20. *Tsvirka M.V., Chelomina G.N., Korablev V.P.* Genetic differentiation between two Palaearctic groups of Ground-Squirrels, Subgenera *Citellus* and *Colobotis* (*Spermophilus*, Sciuridae, Rodentia), based on RAPD-PCR assay // 1st European Ground Squirrel Meeting. Felsőtárkány. Hungary, 2006. P. 56.
21. *Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж.* Молекулярное клонирование. Методы генетической инженерии. М. : Мир, 1984. 474 с.
22. *Yeh F.C., Boyle T.J.B.* Population genetic analysis of co-dominant and dominant markers and quantitative traits // Belgian Journal of Botany. 1997. Vol. 129. P. 157.
23. *Miller M.P.* Tools for population genetic analysis (TFPGA) 1.3: A Windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data. Computer software distributed by author, 1997.
24. *Nei M.* Genetic distance between populations // American Naturalist. 1972. Vol. 106, № 949. P. 283–292.
25. *Sneath P.H.A., Sokal R.R.* Numerical Taxonomy. San Francisco : W.H. Freeman and Co., 1973. P. 442.
26. *Saitou N., Nei M.* The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees // Molecular Biology and Evolution. 1987. Vol. 4. P. 406–425.
27. *Агаджанян А.К.* Этапы эволюции сусликов Северной Евразии // Бюллетень МОИП. Отд. Биол. 2006. Т. 111, вып. 5. С. 4–16.
28. *Воронцов Н.Н., Ляпунова Е.А.* Строение хромосом *Citellus undulatus* и история становления ареалов *C. undulatus* и *C. parryi* // Доклады АН СССР. 1969. Т. 187, № 1. С. 207–210.
29. *Ляпунова Е.А.* Видообразование и филогения некоторых видов млекопитающих на основе молекулярно-генетических подходов : автореф. дис. … д-ра биол. наук. М. : ИБР АН РФ, 2002. 60 с.
30. *Соломонов Н.Г., Ануфриев А.И., Седалищев В.Т.* О причинах снижения численности суслика *Citellus undulatus* в Якутии // Териофауна России и сопредельных территорий : матер. междунар. совещ. Москва ; Тула : ИПП «Гриф и К», 2003. С. 334–335.

31. *Попков А.Ф., Чипанин Е.В.* Эколого-фенетические исследования основных носителей чумы в сибирских природных очагах // Териофауна России и сопредельных территорий : матер. междун. совещ. Москва ; Тула : ИПП «Гриф и К», 2003. С. 272–273.
32. *Попов В.В., Вержуцкий Д.Б., Ткаченко В.А.* Миграционная активность длиннохвостого суслика при низкой численности // Териофауна России и сопредельных территорий : матер. междунар. совещ. Москва ; Тула : ИПП «Гриф и К», 2003. С. 273–274.
33. *Винокуров В.Н.* Численность и изменения ареалов длиннохвостых сусликов Якутии // Суслики Евразии (роды *Spermophilus, Spermophilopsis*): происхождение, систематика, экология, сохранение видового разнообразия : мат-лы рос. науч. конф. М. : КМК, 2005. С. 24–25.
34. *Минаков И.А., Смирнов М.Н., Никитенко Б.В.* Распространение и численность длиннохвостого суслика (*Spermophilus undulatus* Pall.) в Красноярском крае // Суслики Евразии (роды *Spermophilus, Spermophilopsis*): происхождение, систематика, экология, сохранение видового разнообразия : мат-лы рос. научн. конф. М. : КМК, 2005. С. 63–65.
35. *Скалон Н.В., Гагина Т.Н., Сергеев В.Е.* Ареологические особенности и современное состояние популяций краснощекого и длиннохвостого сусликов в Кемеровской области // Суслики Евразии (роды *Spermophilus, Spermophilopsis*): происхождение, систематика, экология, сохранение видового разнообразия : мат-лы рос. научн. конф. М. : КМК, 2005. С. 96–98.
36. *Воронцов Н.Н., Межова О.Н.* Клинальный характер изменчивости морфометрических признаков у *Citellus undulatus* – вида с дизъюнктивным ареалом // Зоологический журнал. 1982. Т. 61, № 10. С. 1697–1703.
37. *Оболенский С.И.* Предварительный обзор палеарктических сусликов (q.q. *Citellus* и *Spermophilopsis*) // Доклады АН СССР. 1927. С. 188–193.
38. *Пляттер-Плохоцкий К.А.* Вредные и полезные животные в сельском хозяйстве ДВК. Хабаровск : Дальгиз, 1934. 143 с.
39. *Воронцов Н.Н., Жолнеровская Е.Н., Баранов О.К.* Иммуносистематика сусликов Палеарктики (*Citellus*, Sciuridae, Rodentia). Серологическая дифференциация сусликов Палеарктики и подродовое членение рода // Зоологический журнал. 1981. Т. 60. С. 1070–1077.
40. Попков А.Ф. Внутривидовая изменчивость эколого-физиологических признаков сибирского длиннохвостого суслика *Citellus undulatus* Pallas : автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток : БПИ ДВНЦ АН СССР, 1978. 159 с.
41. *Крюков А.П., Шереметьева И.Н., Картавцева И.В. и др.* Генетические исследования ресурсных видов наземных позвоночных Российского Дальнего Востока // «Биологические ресурсы Дальнего Востока России: комплексный региональный проект ДВО РАН» / под ред. Ю.Н. Журавлёва. М. : КМК, 2007. С. 271–294.
42. *Цвирка М.В.* Молекулярно-генетические связи восточно-палеарктических сусликов рода *Spermophilus* (Sciuridae, Rodentia) // Териофауна России и сопредельных территорий (VIII съезд ТО). М. : КМК, 2007. С. 535.
43. *Кораблев В.П., Фрисман Л.В., Цвирка М.В. и др.* Цитологическое и аллозимное исследование сусликов группы «major» (*Spermophilus*, Sciuridae, Rodentia) // Проблемы эволюции. Владивосток : Дальнаука, 2003. Т. 5. С. 151–166.
44. *Frisman L., Korablev V., Tsvirka M. et al.* Genetic differentiation of ground squirrels (*Spermophilus,* Sciurudae, Rodentia) in major-erythrogenys-pallidicauda species group // Evolution, genetics, ecology and biodiversity: international conference. Vladivostok, 2001. P. 59.
45. *Tsvirka M., Korablev V., Pang J.* Genetic differentiation and systematics of long-tailed ground squirrels *Spermophilus undulatus* Pallas, 1773 (Rodentia, Sciuridae) based on the molecular genetics analysis // Modern Achievements in Population, Evolutionary, and Ecological Genetics: International Symposium. Vladivostok, 2009. P. 48.

46. *Кораблёв В.П.* Цитогенетическое изучение изменчивости гетерохроматина и районов ядрышкового организатора у сусликов фауны СССР : автореф. дис. … канд. биол. наук. М. : ИБР АН СССР, 1989. 26 с.

*Поступила в редакцию 21.09.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 145–161***

doi: 10.17223/19988591/20/13

**Marina V. Tsvirka, Vladimir P. Korablev**

*Institute of Biology and Soil Science of Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok (Russia)*

## GENETIC VARIABILITY AND DIFFERENTIATION OF LONG-TAILED GROUND SQUIRREL (*Spermophilus undulatus*) BASED ON RAPD-PCR ANALYSIS

*The manuscript of Tsvirka M.V. and Korablev V.P. «Genetic variability and differentiation of long-tailed ground squirrel (Spermophilus undulatus) based on RAPD-PCR analysis» devoted to clarify the intraspecific taxonomy using the methods of molecular genetics. The study contributes to the processes of microevolution and speciation in Mammals, and studies of biodiversity in Siberia and Russian Far East.*

*Long-tailed ground squirrel Spermophilus undulatus (Pallas 1778) is the polytypic species of Holarctic genus Spermophilus (F. Cuvier 1825). It is distribute in the mountainous and foothill regions of the North-East Asia (from the Tien Shan to the Amur region and Yakutia). Wide geographical spread caused the considerable variability of phenotypic characteristics of its component forms. Six subspecies of modern long-tailed ground squirrel: S. undulatus undulatus (Pallas 1778); S. u. stramineus (Obolensky 1927); S. u. eversmanni (Brandt 1841); S. u. intercedens (Ognev 1937); S. u. jacutensis (Brandt 1843); S. u. menzbieri (Ognev 1937) (Gromov et al, 1963; Gromov et al, 1965; Gromov, Erbaeva, 1995) were described on the basis of bio-ecological and morphological features. Despite of this fact the intraspecific systematics of S. undulatus based on classical morphological data is controversial and requires confirmation with using modern molecular genetic techniques.*

*To clarify the intraspecific taxonomy of S. undulatus comparison of genetic polymorphism of four subspecies (S. u. intercedens, S. u. eversmanni, S. u. menzbieri and S. u. jacutensis) by RAPD-PCR analysis of total cellular DNA using ten arbitrary oligonucleotide primers. For the first time identified features showing significant differences between "western" and "eastern" forms, as well as taxon-specific marker fragments for individual subspecies. The values of the parameters of genetic diversity and phylogenetic NJ-tree and UPGMA-dendrogram of genetic similarity of populations were obtained. High level of genetic differentiation between the "western" and "eastern" forms of long-tailed ground squirrel (D = 0.24–0.27, p = 0.00) and the proximity of the eastern subspecies of each to other (D = 0.005–0.008, p = 1.00) were showed. The obtained results allow to consider the validity of an equal share of two long-tailed ground squirrel geographical forms, either as separate taxa within the species level nadvida S. undulatis, or within a single species, which has a maximum intraspecific geographical variability.*

**Key words:** *Spermophilus undulatus; RAPD-PCR analysis; RAPD-markers; genetic variability; intraspecific differentiation; phylogeny.*

*Received September 21, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 162–170*

# СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*561.24-26:235.5/221.2 (571.16)
doi: 10.17223/19988591/20/14

**Н.М. Дебков**

*Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*

## ОСНОВА РОСТА И РАЗВИТИЯ ДЕНДРОЦЕНОЗОВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ ИЗ СОХРАНЕННОГО ПОДРОСТА

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(проект № 12-04-90812-мол_рф_нр).

*Проведены исследования насаждений, возникших на сплошных вырубках с сохраненным подростом и тонкомером давностью 36–49 лет в пределах южной тайги Томской области, разработанных по методу «узких лент». В ходе полевых работ заложена 21 пробная площадь в наиболее распространенных типах леса: мелкотравно-зеленомошном, зеленомошном, папоротниковом, разнотравном и травяно-болотном. Выявлена основополагающая роль крупного подроста в формировании темнохвойных насаждений с примесью лиственных пород. Мелкий, средний подрост и тонкомер также участвуют в сложении древостоя, но при этом имеют второстепенное значение. В разных типах леса процессы роста и развития насаждений протекают специфично, но в целом древостои возникли из подроста высотой 2,0–6,0 м и возраста 15–45 лет. Обозначены нижние пределы значений дорубочных средних приростов по высоте, при которых возможно формирование насаждений без вмешательства лесоводов. Для мелкого и среднего подроста этот показатель равен 8 см/г., крупного подроста – 11 см/г. и тонкомера – 19 см/г.*

**Ключевые слова:** *ретроспективный анализ; южная тайга; сохраненный подрост; предварительные генерации; формирование насаждений.*

### Введение

Проблема сохранения при лесоэксплуатации подпологового возобновления до сих пор считается дискуссионной. На сегодняшний день одной из краеугольных тем является вопрос о высоте сохраненного подроста, которая бы обеспечила формирование хвойного или с преобладанием хвойных пород насаждения. Анализ литературных данных показывает, что существуют различные мнения на этот счет. В частности, по данным [1] весь подрост предварительной генерации хвойных пород, имевший высоту в момент рубки 0,5–1 м и возраст 12–16 лет, на вырубках различной давности выходит в основной полог и закрепляется там. К аналогичным выводам пришли и некоторые другие исследователи, например М.П. Синькевич [2] и Е.С. Бага-

ев, В.Е. Варфоломеев [3]. Первый пришел к мнению, что в результате сохранения в ельниках черничных 500–700 шт/га жизнеспособного подроста ели высотой более 0,5 м через 25–40 лет обеспечивается формирование без лесоводственного ухода смешанных насаждений с участием хвойных пород в верхнем пологе не менее 5 единиц в составе. Вторые выяснили, что лучшую приживаемость к новым условиям среды на вырубках в ельниках черничных и кисличных имеет подрост ели высотой 0,5–1 м в возрасте до 30 лет. Существует мнение о верхнем значении высоты подроста, при которой возможно формирование насаждений. В этой связи (по результатам исследования [4]) детерминирующую роль в формировании хвойных насаждений играет подрост высотой до 2,5 м, более крупный не выдерживает изменения экологических условий или попросту вываливается. В то же время, по данным А.Я. Орлова [5], изучавшего способность образовывать древостой в достаточно продуктивных условиях местопроизрастания – кисличном типе леса, такой способностью обладает подрост высотой 2,8 м. Все вышеперечисленные работы проведены в пределах Русской равнины европейской части России; что касается других регионов, то подобные исследования были проведены также на Урале и в равнинной части Западной Сибири. В.Н. Данилик [6] считает, что в формировании насаждений, возникших из сохраненного подроста, наиболее перспективными являются средний (высота 0,5–1,5 м) жизнеспособный подрост лучшего роста и крупный (1,5 м и более) жизнеспособный подрост лучшего и замедленного роста. Позднее этот же автор уточняет свой вывод [7]: в первый ярус елово-березового насаждения вышел подрост, высота которого в момент рубки составляла 1,0–1,6 м. С другой стороны, Н.С. Иванова и Г.В. Андреев [8] считают, что ель и пихта предварительной генерации могут успешно конкурировать с березой и войти в состав первого яруса, если в момент рубки их высота была не менее 2–3 м. В условиях южной тайги Западной Сибири по ориентировочным данным [9] только в насаждениях зеленомошных и близких им типов леса, при сохранении на рубке подроста кедра, пихты и ели высотой 1–3 м в количестве более 2 тыс. шт/га, темнохвойные породы часто восстанавливаются без смены пород.

В связи с вышеизложенным представляют определенный лесохозяйственный интерес исследования по ретроспективному анализу формирования насаждений, возникших из сохраненного при лесоэксплуатации подпологового возобновления.

## Материалы и методики исследования

Объектом исследований являются насаждения, сформировавшиеся из предварительного возобновления на сплошных вырубках южной подзоны тайги в пределах Томской области (Калтайское участковое лесничество Тимирязевского лесничества ОГУ «Томское управление лесами»).

В период с 1969 по 1971 г. на территории Объ-Томского междуречья проведена апробация одной из самых эффективных технологий, обеспе-

чивающих сохранение подроста, – «метод узких лент». Общая площадь, пройденная рубкой, составила немногим более 3 тыс. га. В рубку поступали спелые, преимущественно разновозрастные темнохвойно-кедровые древостои примерного состава 4П2Е1К2Б1Ос, зеленомошных и травяных типов леса с запасами древесины 260–380 м$^3$/га, где до рубки находилось 3–8 тыс. шт/га молодого поколения хвойных пород. Примерный состав подпологового возобновления 7П2Е1К+Б в разных вариациях. После лесозаготовок, осуществлявшихся с помощью ручной валки бензопилами и трелевке за вершины трактором ТДТ–40, сохранилось 1,5–2,8 тыс. шт/га подроста и тонкомера.

Исследования осуществлялись методом временных пробных площадей (ВПП). Отвод, таксация и обработка данных ВПП производились общеизвестными способами, изложенными в специальной литературе [10], в соответствии с требованиями ОСТа 56–69–83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки» [11]. При отводе пробных площадей соблюдались все условия, обеспечивающие высокую достоверность полученных результатов. На всех ПП площадью, обеспечивающей наличие деревьев основного компонента леса в количестве не менее 200 шт., произведена перечислительная таксация способом сплошного перечета древостоя в абсолютных значениях с точностью до 1 мм с помощью металлической мерной вилки (всего обмерено 8,2 тыс. деревьев). На основании перечетов проводился отбор модельных деревьев средним количеством 30 шт. на ВПП (от 22 до 38, которое зависело от породного состава и строения по толщине древостоя). Всего было спилено и обмерено по стандартной методике 617 модельных деревьев кедра, ели, пихты, березы и осины. Объем ствола определялся по сложной формуле срединных сечений (сложной формуле Губера). В общей сложности заложена 21 ВПП в пяти наиболее распространенных типах леса: мелкотравно-зеленомошном, зеленомошном, разнотравном, травяно-болотном и папоротниковом с давностью рубки 36–49 лет.

Давность рубки определяли интегральным способом: с использованием материалов последнего лесоустройства (2001 г.), возраста лиственных элементов леса, имеющих последующее происхождение, а также вычисляли давность окончания последнего акцентированного периода угнетения хвойных элементов леса. Основное внимание уделяли последнему показателю, прибавляя 5 лет – время, которое требуется темнохвойному дереву, чтобы приспособиться к резко изменившимся после вырубки материнского древостоя условиям.

В своих исследованиях подростом мы считали молодое поколение леса, имеющее среднюю высоту не более ¼ высоты основного полога, в противном случае подпологовое возобновление относили к тонкомеру. Поскольку средняя высота вырубленных насаждений равнялась примерно 24 м, то к подросту относили экземпляры высотой до 6 м, а свыше 6 м – к тонкомеру.

## Результаты исследования и обсуждение

Настоящим исследованием установлено, что формирование насаждений происходит в основном за счет пихты, ели и кедра (таблица). Также в этом процессе принимает участие береза, которая присутствует в составе 2/3 насаждений. Возможно участие и осины, однако в силу ее светолюбивости это происходит редко и, согласно нашим данным, исключительно в зеленомошной группе типов леса. Светлохвойные породы (сосна и лиственница) тоже принимают участие в росте древостоев. Причем сосна, как и осина, в виде единичной примеси присутствует в зеленомошной группе типов леса, а лиственница предпочитает травяно-болотный и разнотравный типы леса. При этом зачастую составляет до 10% по запасу, что ввиду ее немногочисленности говорит о ее внушительных биометрических показателях.

Несмотря на участие в формировании насаждений всех трех темнохвойных пород, в некоторых типах леса проявляется четкая тенденция доминирования какой-либо одной породы. В частности, в травяно-болотном и разнотравном типах леса преобладает ель, в папоротниковом – пихта. Что касается мелкотравно-зеленомошного и зеленомошного типов леса, то здесь все темнохвойные породы активно участвуют в формировании древостоев в примерно равных пропорциях.

Все исследованные насаждения возникли из сохраненного подроста, имевшего среднюю высоту выше 1 м. При этом формирование древостоев обеспечивается в основном за счет крупного подроста высотой от 1,5 м и выше (высоты варьируют в пределах 2–6 м). Средний подрост (высотой 0,5–1,5 м) служит основой древостоя в насаждениях, в которых заложены ПП №11, 14, 21. Обусловлено это несколькими причинами:

1. На ПП № 11 и 14 формирование древостоя за счет среднего по высоте подроста стало возможным благодаря изначальной большой густоте подроста под пологом леса. В этой связи необходимо отметить, что, согласно исследованиям [12], при первоначальной высоте елового подроста около 1–1,5 м и сильной его загущенности (когда затеняется большая часть поверхности почвы) корневых отпрысков осины появляется мало, они угнетены и (за исключением единичных экземпляров) не могут составить серьезную конкуренцию еловому подросту.

2. Формирование древостоя на ПП № 21 за счет среднего подроста было обеспечено качественно проведенными лесохозяйственными мероприятиями в виде обезвершинивания пихты и ели с целью направленного формирования кедровых молодняков, выполненных под руководством кандидата сельскохозяйственных наук И.А. Беха (ИМКЭС СО РАН).

Наряду со средним и крупным подростом в формировании практически каждого древостоя принимают участие мелкий подрост и тонкомер. Процентное содержание мелкого, среднего, крупного подроста и тонкомера в мелкотравно-зеленомошном типе леса выглядит следующим образом: 22,

16, 40, 22%; в зеленомошном: 15, 25, 33, 27%; в папоротниковом: 12, 15, 56, 17%; в травяно-болотном: 21, 26, 33, 20%; в разнотравном: 17, 26, 30, 27%.

**Основа формирования насаждений, возникших из предварительного возобновления**

| № ПП | Состав, % | Высота, м | Возраст, лет | Категория крупности |
|---|---|---|---|---|
| Мелкотравно-зеленомошный тип леса (МЗМ) | | | | |
| 1 | 59П23Е6К12Ос | 5,7±0,8 / 0,3–10,5 | 32,3±3,3 / 1–53 | Крупный подрост |
| 7 | 57Е19К19П5Б | 4,8±0,6 / 0,1–9,1 | 34,6±3,2 / 1–69 | Крупный подрост |
| 11 | 38П29Е19К14Б | 1,3±0,3 / 0,1–5,2 | 13,5±2,6 / 1–52 | Средний подрост |
| 12 | 39П17Е13К31Б | 4,0±1,0 / 0,3–19,7 | 18,6±3,0 / 2–57 | Крупный подрост |
| 15 | 50Е19С8К8П15Б | 6,0±0,8 / 0,1–13,6 | 31,8±2,4 / 1–50 | Крупный подрост |
| 21 | 62К33П5Е | 1,1±0,3 / 0,1–5,0 | 14,9±3,0 / 1–49 | Средний подрост |
| 23 | 58Е25К17Е | 2,1±0,5 / 0,1–5,0 | 24,4±4,7 / 1–51 | Крупный подрост |
| Зеленомошный тип леса (ЗМ) | | | | |
| 4 | 58П32Е10К | 4,7±1,3 / 0,1–15,3 | 35,9±7,0 / 1–90 | Крупный подрост |
| 10 | 46К36Е18Б | 3,9±0,6 / 0,9–10,6 | 26,9±2,2 / 6–45 | Крупный подрост |
| 16 | 38П31К31Е | 3,6±1,1 / 0,2–9,9 | 33,7±9,1 / 2–97 | Крупный подрост |
| Папоротниковый тип леса (ПТ) | | | | |
| 2 | 50П29Е7К14Б | 3,5±0,8 / 0,1–9,4 | 32,5±6,0 / 2–85 | Крупный подрост |
| 18 | 50П42Е8Б | 3,9±0,7 / 0,2–9,0 | 42,9±7,6 / 2–95 | Крупный подрост |
| 22 | 67П13Е20Б | 4,7±0,9 / 0,1–13,0 | 28,9±5,7 / 1–68 | Крупный подрост |
| Травяно-болотный тип леса (ТБ) | | | | |
| 5 | 60Е35П5К | 5,9±1,1 / 0,5–15,5 | 40,0±5,6 / 4–82 | Крупный подрост |
| 6 | 47Е15К15П23Б | 5,2±1,3 / 0,4–15,0 | 32,8±5,1 / 5–59 | Крупный подрост |
| 8 | 61Е22К11П6Б | 1,8±0,4 / 0,1–6,7 | 18,7±3,1 / 1–51 | Крупный подрост |
| 14 | 57Е29П7К7Б | 1,1±0,3 / 0,2–3,7 | 14,7±3,1 / 1–32 | Средний подрост |
| Разнотравный тип леса (РТР) | | | | |
| 9 | 78Е5К4П13Б | 3,9±0,7 / 0,1–11,5 | 22,9±2,5 / 1–46 | Крупный подрост |
| 13 | 94Е6Б | 3,4±0,9 / 0,3–11,0 | 26,8±4,7 / 1–80 | Крупный подрост |
| 19 | 54П38Е8Б | 2,5±0,6 / 0,1–6,2 | 26,9±6,0 / 1–72 | Крупный подрост |
| 24 | 85Е15К | 4,9±1,0 / 0,1–11,5 | 43,4±6,4 / 1–80 | Крупный подрост |

*Примечание.* В графах «высота» и «возраст» в числителе указаны среднеарифметические значения с ошибкой среднего, в знаменателе – предел значений.

Поскольку достоверных различий между разными типами леса не выявлено, то усредненный показатель долевого участия указанных категорий крупности равен 19, 21, 38 и 22% соответственно. В целом для мелкого подроста средняя высота равна 0,3 м, среднего подроста – 0,9 м, крупного подроста – 3,4 м и тонкомера – 9,2 м.

Возраст сохраненных предварительных генераций положительно коррелирует с высотой и варьирует в пределах от 13 до 44 лет по разным типам леса. При этом средний возраст мелкого подроста равен 4 годам, среднего подроста – 14, крупного подроста – 34 и тонкомера – 55 годам. Легко заметить, что цикл подпологовых генераций равен примерно 20 годам, т.е. примерно каждые 20 лет происходит массовое обновление поколений, способных выполнить формирующую роль по отношению к материнскому древостою.

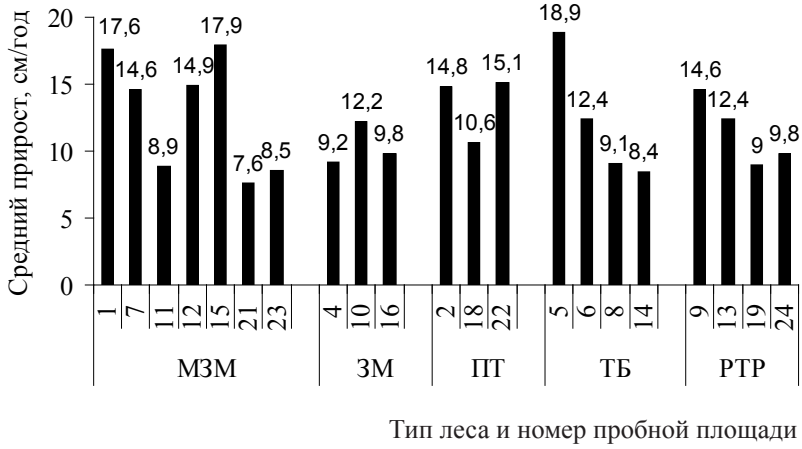



Рис. 1. Динамика средних приростов подпологового возобновления на момент рубки

Необходимо отметить, что до сих пор существует мнение о возможности адаптации к условиям вырубки тонкомера возраста до 70 лет [13]. Согласно нашим данным, для условий южной тайги Западной Сибири этот возраст увеличивается до 100 лет, что говорит о высокой адаптивной способности тонкомера на сплошных вырубках, с одной стороны, и о его устойчивости к воздействию ветра при выставлении на простор – с другой. Однако это касается отдельных деревьев. Для основной массы тонкомера возраст дотягивает до обозначенных 55 лет.

Важнейшим таксационным показателем, позволяющим судить о жизнеспособности и здоровье подпологовых поколений, является средний прирост. По нашим данным, динамика средних приростов по типам леса выражена слабо и существенных различий не выявлено (см. рис. 1). А поскольку подрост разных категорий крупности и тонкомер находятся в сравнительно

одинаковых лесорастительных условиях, то показатели средних приростов практически целиком и полностью определяются высотой молодого поколения леса. В этой связи показатели средних приростов у мелкого подроста колеблются в пределах 5,9–10,0 см (в среднем 8,1±0,4 см), у среднего подроста – 5,0–12,2 см (в среднем 7,4±0,6 см), у крупного подроста – 7,9–16,7 (в среднем 10,7±0,8 см). Варьирование значений средних приростов у тонкомера составляет 10,5–24,5 см (в среднем 18,6±3,1 см).

Таким образом, молодое поколение леса, находящееся под пологом насаждения и имеющее аналогичные показатели среднего прироста, с большой долей вероятности способно в будущем сформировать новый древостой без вмешательства лесоводов.

## Заключение

Таким образом, формирование насаждений из подроста и тонкомера на сплошных вырубках южной тайги в пределах Томской области происходит за счет темнохвойных пород (ель, пихта и кедр) с примесью светлохвойных (сосна и лиственница) и лиственных пород (в основном березы). Несмотря на то что практически в каждом насаждении присутствуют все основные лесообразователи южной тайги, существуют типологические закономерности, а именно в травяно-болотном и разнотравном типах леса доминирует ель, а в папоротниковом – пихта. Средние показатели высот сохраненных генераций колеблются в пределах от 2 до 6 м, что соответствует крупному подросту. Однако вне зависимости от типологической принадлежности в формировании древостоя наравне с крупным подростом (38%) принимают участие мелкий (19%), средний подрост (21%) и тонкомер (22%). При этом средний возраст мелкого подроста равен 4 годам, среднего подроста – 14, крупного подроста – 34 и тонкомера – 55 годам.

В одной из наших работ [14] мы проанализировали возобновительный потенциал темнохвойных насаждений на изучаемой территории по данным массовой таксации (13 156 выделов на площади 89 889 га). По результатам исследований возраст подпологового возобновления колеблется в пределах от 5 до 55 лет. Но при этом наиболее часто встречается подрост возраста 20 лет (17%), 25 лет (18%) и 30 лет (24%). Такая ситуация характерна для всех без исключения типов леса. Высота подпологового возобновления колеблется в пределах от 0,5 до 6,0 м. Но при этом наиболее часто встречается подрост высотой 2 м (24%), 2,5 м (17%) и 3,0 м (16%). Такая ситуация характерна для всех без исключения типов леса. Эти данные косвенно подтверждают достоверность выводов по ретроспективному анализу хода роста насаждений из подроста и тонкомера.

Большой практический интерес представляют выявленные пороговые значения средних приростов у подпологовых генераций, обеспечивающих формирование целевых хвойных насаждений без лесоводственных уходов,

которые равны 8 см – у мелкого и среднего подроста, 11 см – у крупного подроста и 19 см – у тонкомера.

## *Литература*

1. *Дерягин В.Т.* Формирование молодняков на вырубках ельника травяного // Лесное хозяйство. 1975. № 2. С. 26–29.
2. *Синькевич М.П.* Производительность древостоев, возникших из подроста на сплошных вырубках Карелии // Лесное хозяйство. 1982. № 6. С. 19–23.
3. *Багаев Е.С., Варфоломеев В.Е.* Сохранение подроста и молодняка хвойных пород при проведении рубок главного пользования в лесхозах Костромской области // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Брянск: БГИТА, 2003. вып. 5. С. 7–9.
4. *Рубцов М.В., Дерюгин А.А., Серяков А.Д.* Закономерности роста ели после рубки верхнего яруса березы // Лесоведение. 2005. № 6. С. 44–53.
5. *Орлов А.Я.* Значение елового подроста в мелколиственных лесах южной тайги для восстановления ельников // Лесное хозяйство. 1983. № 4. С. 11–14.
6. *Данилик В.Н. и др.* Формирование темнохвойных молодняков на сплошных вырубках при предварительном и последующем возобновлении // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск, 1976. Вып. 9. С. 66–75.
7. *Данилик В.Н.* Прогнозирование положения елового подроста в пологе будущих древостоев // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск, 1978. Вып. 11. С. 55–62.
8. *Иванова Н.С., Андреев Г.В.* Естественное восстановление структуры ценопопуляций ели сибирской и пихты сибирской под пологом короткопроизводных березняков в горах южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 7(49). С. 75–77.
9. *Данченко А.М., Бех И.А.* Перспективы освобождения кедрового подроста из-под полога других пород // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 1(9). С. 68–77.
10. *Горский П.В.* Руководство для составления товарных и сортиментно-сортных таблиц. Л. : Трест «Лесной авиации», 1941. 85 с.
11. ОСТ 56-63-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 60 с.
12. *Орлов А.Я., Серяков А.Д.* Формирование еловых древостоев из подроста на вырубках мелколиственных лесов // Лесное хозяйство. 1991. № 1. С. 23–25.
13. *Мельников Е.С., Мартынов А.Н., Дятчина Д.В.* Подсушка осины с целью перевода перестойных осинников в еловые молодняки // Лесное хозяйство. 2009. № 4. С. 18–19.
14. *Дебков Н.М., Сосковец П.В.* Обеспеченность подростом темнохвойных насаждений южной тайги Томской области // Современные вопросы науки – XXI век : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов : Бизнес–Наука–Общество, 2011. Ч. 1. С. 40–41.

*Поступила в редакцию 18.08.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 162–170***

doi: 10.17223/19988591/20/14

**Nikita M. Debkov**

*Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## RETROSPECTIVE ANALYSIS OF FOREST STANDS PRELIMINARY GENERATIONS FORMATION

*The problem of preserving undercanopy renewal in forest exploitation is still considered very debatable. Today one of the most acute questions about the height of the preserved undergrowth that would ensure the formation of coniferous plantations. In connection with the foregoing there is a specific interest in forestry research according to the retrospective analysis of plantations formation from the preserved undercanopy renewal in forest exploitation. The object of research is plantings formed from preliminary renewal in the clear cutting of the southern taiga subzone within Tomsk oblast. The research was carried out by temporary trial area method (TTA). The challenge, taxation and TTA data processing were performed by conventional methods outlined in special literature, in accordance with the requirements of OST 56-69-83 «Trial area of organization. The method of distinguishing». Complete enumeration tonnage capacity measured 8.2 thousand trees. Based on the enumeration of trees there was selected models in the average number of 30 pieces on TTA (from 22 to 38, which depended on the species composition and forest stand structure). There were cut down and measured 617 model trees of cedar, spruce, fir, birch and aspen according to a standard method. The size of the trunk was determined by a complicated formula of the median cross-sections (Huber complex formula). The total of 21 TTA were introduced in five most common types of forests: small grassy-mossy, mossy, grassy-swampy, ferny and grassy ones. The age of cutting is 36–49 years. In our studies, we mean forest young generation by "undergrowth", which has an average height of no more than ¼ of the height of the main canopy, otherwise undercanopy renewal was attributed to the immature element of the forest stand. Since the average height of the felled trees amounted to about 24 m, the specimens were attributed to the undergrowth height of about 6 m and more than 6 meters – to the immature element of the forest stand. Thus, the formation of the undergrowth and trees on clear cutting of the southern taiga in Tomsk oblast is due to conifer species (spruce, fir and cedar), with the height from 2 to 6 m. The age varies in the range from 15 to 45 years. In one of our work, we analyzed the potential of the renewable conifer plantations in the study area according to the mass inventory (89889 ha). According to the research, the undergrowth renewal age ranged from 5 to 55 years. But the age of 20 is most often found (17%), 25 (18%) and 30 (24%). This situation is typical of all types of forests. The height of preliminary renewal resume ranges from 0.5 to 6.0 m, but the most frequently encountered undergrowth height is 2 m (24%), 2.5 m (17%) and 3.0 m (16%). This situation is also typical of all types of forests as well. These data indirectly confirm the reliability of the findings of the retrospective analysis of plantation growth from the undergrowth. It was revealed that the values of the average growth at the time of cutting was more than 8 cm for small and medium undergrowth, 11 cm for big undergrowth and 19 cm for the immature element of the forest stand, there is a high probability of forming dark coniferous stands without silvicultural departures.*

**Key words:** *retrospective analysis; southern taiga; saved undergrowth; preliminary generation; formation of plantations.*

*Received August 18, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 171–184*

УДК 630*18:583.47(235.222)
doi: 10.17223/19988591/20/15

**Е.Е. Тимошок, С.Н. Скороходов, Е.Н. Тимошок**

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск)*

# ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КЕДРА СИБИРСКОГО (*Pinus sibirica* Du Tour) НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ АЛТАЕ

Работа выполнена при поддержке СО РАН (программа YII.63.1.)
и проекта Президиума РАН № 4.

*Показаны эколого-ценотические особенности кедра сибирского на верхней границе его распространения в Центральном Алтае – горно-ледниковом бассейне Актру. Методом ординации на основе стандартных экологических шкал выявлен фрагмент его экологического ареала по факторам увлажнения и активного богатства почв. Установлено, что здесь, при крайнем дефиците тепла, весь спектр условий существования по этим факторам находится в пределах зоны оптимума, выявленной для всего ареала этого вида. Кедр сибирский занимает в этих условиях серии местообитаний с влажнолесным увлажнением, бедными и небогатыми почвами и проявляет себя как мезотроф и эумезофит.*

**Ключевые слова:** *кедр сибирский; экологические факторы; Центральный Алтай.*

## Введение

Кедр сибирский – один из основных эдификаторов равнинных и горных темнохвойных лесов Сибири [1, 2] имеет обширный ареал, охватывающий в основном Западную, Среднюю Сибирь и горы Южной Сибири. Н.К. Таланцев с соавт. [3] и Г.В. Крылов с соавт. [1] отмечали, что по экологической природе и происхождению кедр сибирский – дерево горное и относится к горным лесообразующим породам, однако в настоящее время он занимает как горные, так и обширные равнинные территории. Ареал кедра в центре таежной зоны северной части Евразии свидетельствует о нем как о морозоустойчивой континентальной относительно влаголюбивой лесной породе. По мнению этих авторов, кедр отличается теневыносливостью в молодости и светолюбием в зрелом возрасте, значительной холодоустойчивостью, способностью произрастать на многолетних мерзлых почвах, а также требовательностью к относительной влажности воздуха.

В Горном Алтае кедр сибирский является одной из основных лесообразующих пород [4]. Наибольшее распространение лесов с его преобладанием в древесном ярусе отмечено для Северо-Восточного (Прителецкого) Алтая, низко- и среднегорья которого большинство сибирских исследователей [1, 3,

5] считали оптимальными для роста кедра. Кратко описывая кедровые леса верхней части лесного пояса (1 800–2 000 м над ур. м.) на восточных и северных хребтах Алтая, приуроченные к «поясу конденсации», А.В. Куминова [4] отмечала, что они характеризуются довольно редким пологом деревьев, развитым кустарниковым ярусом из *Betula rotundifolia* Spach., под которым иногда развивается несомкнутый ярус из *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* или редкий травяной покров из *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca rubra* и некоторых других немногочисленных видов. В Центральном Алтае «чистые насаждения он образует и в верхней части лесного пояса, где кедровые леса и “перелески” комплексируются с субальпийскими лугами или образуют своеобразный ландшафт высокогорной лесотундры» [4. С. 267].

Кедр сибирский на Алтае, как правило, поднимается в горы выше других древесных пород [4, 6]. Граница леса, сформированная авангардными насаждениями кедра, в Северном и Северо-Восточном Алтае проходит на высоте 1 800–2 000 м; по направлению к югу и юго-востоку она поднимается до 2 300–2 400 м над ур. м. В Монгольском Алтае [7] по северным склонам в верхней части лесного пояса и в подгольцовых лиственничниках кедр сибирский отмечен на высотах 2 200–2 500 м над ур. м.

Система Чуйских белков (Северо-Чуйский и Южно-Чуйский хребты) по лесорастительному районированию А.Г. Крылова и С.П. Речан [8, 9] отнесена к Чуйско-Курайскому округу, подпровинции Юго-Восточный Алтай, где лесной пояс, в котором абсолютно доминирует лиственница сибирская, занимает полосу 1 200–2 400 м над ур. м. Выделенный в округе лесной лиственничный район охарактеризован авторами достаточно кратко по данным, полученным на сглаженных неоднократными оледенениями склонах Южно-Чуйских белков в бассейне р. Джасатер. Встречающиеся в этом районе кедрово-лиственничные леса авторами не описаны. В последующем В.Н. Смагиным с соавт. [10] Чуйские хребты отнесены к Алтае-Тувинско-Хангайской котловинно-горной провинции. Однако характеристика высотно-поясных комплексов этой провинции дана на основе сведений, приведенных в монографиях А.Г. Крылова и С.П. Речан [8, 9].

В связи с вышеизложенным очевидно, что роль кедра сибирского в формировании верхней границы леса, в широком понимании [11, 12] включающей в себя авангардные леса верхней части горно-лесного пояса и сообщества лесотундрового экотона, в наиболее возвышенной части Центрального Алтая до настоящего времени остается почти не исследованной.

Поскольку кедр сибирский по своей толерантности к дефициту тепла среди всех сибирских лесообразующих пород находится на третьем месте после лиственниц даурской и сибирской [2], представляется интересным выяснить его требования к условиям увлажнения и активного богатства почв в условиях крайнего дефицита тепла на верхней границе его распространения.

Целью данной работы являлось изучение эколого-ценотических особенностей кедра сибирского в высотном диапазоне 2 100–2 500 м над ур. м. –

на верхнем пределе его распространения в Центральном Алтае, на примере наиболее возвышенной части Северо-Чуйского хребта.

## Материалы и методики исследований

Исследования проводились в 1988, 1999–2010 гг. в наиболее возвышенной части Северо-Чуйского хребта (горный узел Биш-Иирду), в модельном горно-ледниковом бассейне Актру, который представляет собой весьма замкнутый водосбор истоков горно-ледниковой речки с общей площадью 40 кв. км; окружен гребнями гор с отметками в 3 600–4 050 м. Бассейн представляет типичный результат крупномасштабной ледниковой разработки рельефа с характерной тенденцией к общей циркообразной форме, крутыми склонами и выположенным дном на сниженных уровнях около 2 200–2 400 м [13].

Климат бассейна Актру, по данным столь редких для высокогорий Алтая многолетних метеорологических наблюдений, с точки зрения «общей климатической характеристики характеризует типичную зону перехода от зоны леса к альпийской зоне» [14. С. 45]. Климатическая репрезентативность этого бассейна обоснована данными М.В. Тронова с соавт. [15, 16] и В.В. Севастьянова [14].

Изучение эколого-ценотических особенностей кедра сибирского проводилось на высотных профилях, заложенных от днища долины р. Актру (2 100 м над ур. м., верхняя часть лесного пояса) до верхней границы его распространения (2 500 м над ур. м., верхняя часть лесотундрового экотона). По ходу профилей исследованиями охвачен значительный по разнообразию диапазон растительных сообществ с участием кедра. На этой основе установлены его приуроченность и значение в сложении высокогорных сообществ. В растительных сообществах с участием кедра сибирского выполнено около 90 геоботанических описаний. Полученный массив данных обработан с помощью стандартных экологических шкал Раменского – Цаценкина с использованием системы ИБИС [17], на основе которых проведена оценка диапазона экологических условий произрастания кедра по факторам увлажнения и активного богатства почвы. Оценка экологических характеристик кедра сибирского (расчетные диапазон и точка оптимума, а также его принадлежность к экологическим группам) проведена по методу Е.П. Прокопьева [18] на основе формул, приведенных в работах И.А. Цаценкина [19]. Согласно этому методу зона оптимума ограничивается крайними ступенями формулы массового обилия; диапазон толерантности – границами единичного обилия с обеих сторон. Экологическую категорию вида устанавливали по точке оптимума, которая рассчитывалась как средняя величина в зоне оптимума. Фрагмент экологического ареала кедра сибирского в горно-ледниковом бассейне Актру построен методом ординации.

Латинские названия сосудистых растений приведены в основном по С.К. Черепанову [20].

### *Результаты исследований и обсуждение*

Как показали проведенные исследования, кедр сибирский на верхней границе распространения в Центральном Алтае – в наиболее возвышенной части Северо-Чуйского хребта (горно-ледниковый бассейн Актру), на высотах 2100–2500 м над ур. м., участвует в формировании древесного яруса старовозрастных и послепожарных кедрово-лиственничных, лиственничных и кедровых лесов, молодых лиственничников на флювиогляциальных отложениях, а также сообществ лесотундрового экотона.

Кедр сибирский абсолютно преобладает здесь в древесном ярусе ***старовозрастных приледниковых кедровых лесов***, приуроченных к достаточно пологим участкам в нижней части бортов долины р. Актру на высотах 2 100–2 300 м над ур. м. Эти леса сохранились в горно-ледниковом бассейне Актру в виде отдельных фрагментов, разделенных обширными полосами каменистых россыпей. Здесь отмечен сложный микрорельеф с мезоповышениями и понижениями разной величины, возвышающимися валунами, валежинами старых деревьев кедра, как упавших недавно и еще неомоховевших, так и отмерших давно и уже полуразрушенных, заселенных мхами и сосудистыми растениями (брусника, линнея и др.).

В старовозрастных лесах кедру сибирскому сопутствуют 104 вида сосудистых растений [21], 33 вида листостебельных мхов и 11 видов напочвенных лишайников.

Древесный ярус старовозрастных кедровников достаточно мозаичен. Кедр представлен в основном двумя возрастными поколениями, основное поколение имеет возраст 370–450 лет, второе – 220–310 лет [22].

Кустарниковый ярус с преобладанием *Betula rotundifolia* Spach., *Lonicera altaica* Pall., *Salix glauca* L., низким участием *Salix sajanensis* Nasarow*, S. saposhnikovii* A. Skvorts. развит, главным образом, в окнах древостоя. Во фрагментах кедровников, приуроченных к нижней части западно-северо-западного склона, преобладает *Betula rotundifolia*, в меньшем обилии отмечены *Salix glauca, Lonicera altaica,* во фрагментах на восточно-юго-восточном склоне – *Lonicera altaica*, а менее обильна – *Betula rotundifolia*.

В травяно-кустарничковом ярусе отмечено значительное число (около 90) видов цветковых растений, среди которых преобладают высокогорные и горные виды: *Anthoxanthum alpinum* A.& D. Love*, Callianthemum sajanense* (Regel.) Witas*., Carex sabynensis* Less. ex Kuth*, Carex sempervirens* Vill., *Festuca kryloviana* Reverd*., Gastrolychnis tristis* (Bunge) Czer*., Gentiana grandiflora* Laxm*., Hedysarum neglectum* Ledeb., *Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori, *Minuartia biflora* (L.) Schinz & Thell., *Pedicularis brachystachys* Bunge, *P. compacta* Steph*., Potentilla gelida* C.A. Mey*., Stellaria peduncularis* Bunge*, Luzula parviflora* (Ehrh.) Desv*., L. sibirica* V. Krecz*., Aconitum decipiens* Worosch. & Anfalov*, A.altaicum* Steinb*., A. leucostomum* Worosch*., Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch*., Swertia marginata* Schrenk.; участвуют и горно-равнинные виды: *Ae-*

*gopodium alpestre* Ledeb., *Bistorta vivipara* (L.) S.F. Grey, *Calamagrostis pavlovii* Roshev., *Cerastium pauciflorum* Stev. ex Ser., *Equisetum pratense* Ehrh., *Erigeron politus* Fries., *Linnaea borealis* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Poa sibirica* Roshev. и др. Из кустарничков в значительном обилии присутствуют *Vaccinium vitis-idaea* L. и *Empetrum nigrum* L.

В этих лесах высокое фитоценотическое значение имеют мхи и лишайники. Здесь отмечено значительное видовое разнообразие листостебельных мхов, среди которых 8 представителей рода *Dicranum*, 3 вида рода *Polytrichum* и др. Однако основную роль в сложении мохово-лишайникового яруса играют немногие лесные виды мхов *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., *Pleurozium schreberi* (Britt.) Mitt., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Polytrichum juniperinum* Hedw. Напочвенные лишайники представлены видами из родов *Cladonia* (6 видов), *Peltigera* (2 вида), *Hypogimnia, Nephroma, Physcia* (по 1 виду). Значительна же роль лишь *Cladonia stellaris* (Opiz.) Pouzar et Vezda и *C. arbuscula* (Wallr.) Flot.

Под старовозрастными кедровниками [23] на выровненных участках (гидроморфные условия) развиты криоземы типичные, весь почвенный профиль которых оглеен вследствие избыточного увлажнения. Вечная мерзлота в середине лета (июль) залегает начиная с глубины 35–40 см и к осени не опускается ниже 60 см. На более дренированных участках восточного склона под ними развиты подбуры.

Кедр сибирский в старовозрастных приледниковых лесах на высотах 2 100–2 300 м над ур. м. является эдификатором, составляя 90–100% древесного яруса. Здесь он устойчиво существует в диапазонах увлажнения от 66,5 до 70,7 ступени (4 ступени) и активного богатства почв от 6,9 до 8,2 ступени (1,5 ступени) (рис. 1).

В строении древесного яруса ***лесов послепожарного происхождения*** (2 100–2 250 м над ур. м.) кедр сибирский принимает различное участие в зависимости от крутизны и экспозиции склонов, характеризующихся сложным микрорельефом: повышениями и понижениями (временные водотоки) в сочетании с малозаросшими каменистыми участками.

В долине Актру такие леса восстановились на месте гарей, охарактеризованных профессором Томского Императорского университета В.В. Сапожниковым: «Насаждения в долине почти чисто лиственничные и притом испытавшие действие огня, местами полузаваленные обуглившимися стволами, между которыми засела весьма однообразная травяная растительность – один злак и одно желтое бобовое, и больше – на значительных пространствах ничего иного. Густо стоящие лиственницы обгорели внизу до половины и даже на ¾ ствола …» [6. С. 142].

В настоящее время в древесном ярусе лесов, сформировавшихся на месте былых пожарищ, кедр сибирский представлен почти исключительно одним поколением возраста 90–130 лет [22].

Высокое участие кедра в древесном ярусе (до 90%) отмечено только для небольших по площади фрагментов молодых кедровников на участках с не-

большой крутизной склонов. В древесном ярусе кедрово-лиственничных лесов участие кедра не превышает 10–20%, а в лиственничниках его участие единично.

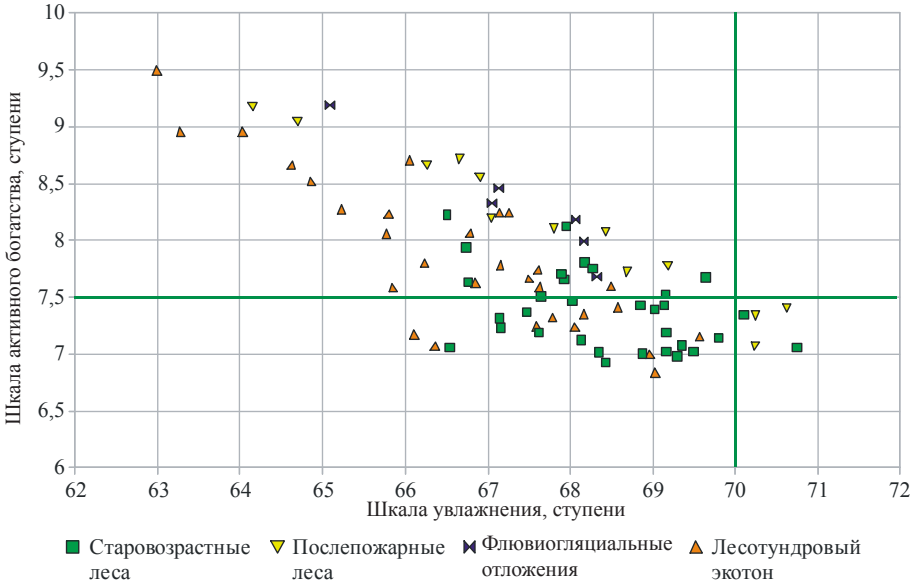



Рис. 1. Фрагмент экологического ареала *Pinus sibirica* на верхней границе его распространения в Центральном Алтае. Зеленые линии – проекции точек оптимума на фрагмент

В послепожарных лесах сообщества с кедром сибирским включают в себя 96 видов сосудистых растений [21] и 18 видов листостебельных мхов.

На более сухом и крутом восточно-юго-восточном склоне долины р. Актру распространены закустаренные разнотравно-осоковые и разнотравно-злаковые кедрово-лиственничные и лиственничные леса. Кустарниковый ярус под пологом леса разреженный, а в окнах древостоя довольно густой из *Spiraea chamaedrifolia* L., *Cotoneaster uniflorus* Bunge, *Juniperus sibirica* Burgad. В травяном покрове разнотравно-осоковых лесов преобладает *Carex macroura* Meynsch.; разнотравно-злаковых – *Calamagrostis pavlovii*. С низким проективным покрытием и в тех и в других участвуют *Aegopodium alpestre, Aquilegia glandulosa* Fisch. ex Link., *Crepis sibirica* L., *Dianthus superbus* L., *Geranium pseudosibiricum* J. Mayer, *Lilium pilosiusculum* (Freyn) Miscz., *Poa altaica* Trin., *Polemonium caeruleum* L., *Saussurea controversa* DC, *Solidago dahurica* Kitag., *Trifolium lupinaster* L.

На более влажном западно-северо-западном склоне распространены ерниково-кустарничково-зеленомошные лиственничники, в кустарниковом ярусе которых значительное участие имеют *Betula rotundifolia;* в травяно-

кустарничковом – *Vaccinium vitis-idaea, Aegopodium alpestre*; с низким участием отмечены *Cerastium pauciflorum, Galium boreale* L. и др.

В отличие от старовозрастных кедровников, в лесах послепожарного происхождения преобладают горно-равнинные виды: *Achillea millefolium* L., *Bupleurum aureum* Fisch. ex Hoffm, *Calamagrostis pavlovii, Carex macroura, Crepis sibirica, Galium boreale, Dracocephalum nutans* L., *Lilium pilosiusculum, Paeonia anomala* L., *Polemonium caeruleum, Primula pallasii* Lehm., *Scorzonera radiata* L., *Thalictrum minus* L., *Trollius asiaticus* L. и др.; участие высокогорных видов *Draba subamplexicaulis* C.A. Mey., *Carex sempervirens*, *Gentiana uniflora, Gypsophila cephalotes* (Schrenk) Com., *Hedysarum neglectum* Ledeb., *Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori, *Minuartia biflora* (L.) Schinz & Thell. и др. в их составе заметно ниже. В этих лесах моховой ярус развит в основном на западно-северо-западном склоне, в меньшей степени – на восточно-юго-восточном (только на пологих участках); тогда как на крутых участках этого склона, где высока задернованность почвы злаками и (или) *Carex macroura*, мхи значимой фитоценотической роли не имеют. В целом же видовое разнообразие листостебельных мхов в послепожарных лесах в два раза ниже, чем в старовозрастных кедровниках. Наибольшее участие в моховом ярусе отмечено для тех же лесных мхов, что и в старовозрастных кедровниках: *Hylocomium splendens, Pleurozium schreberi, Ptilium crista-castrensis.*

Под лесами послепожарного происхождения развиты подбуры, профиль которых менее развит, чем в старовозрастных кедровниках, поскольку часть поверхности перекрыта делювиальными оползневыми крупно-щебнистыми отложениями, на которых сформированы примитивные щебнистые маломощные почвы [24].

В этих лесах кедр сибирский произрастает в диапазонах увлажнения от 64,2 до 70,6 ступени (6,4 ступени), активного богатства почв – от 7,0 до 9,2 ступени (см. рис. 1). Интересно отметить, что на более пологих участках склонов, где формируются фрагменты молодых кедровников, увлажнение несколько выше (67–70,6 ступени), чем на более крутых участках, где восстановились лиственничники (64,2–69,1 ступени).

В древесном ярусе ***молодых лиственничников***, формирующихся на водно-ледниковых отложениях на днище долины р. Актру, имеющих большую мощность и относительно ровную поверхность [25], молодые особи кедра присутствуют единичными экземплярами.

В сложении напочвенного покрова участвуют сосудистые растения и мхи, крайне редко, на каменистых участках, – лишайники. В обедненном (по сравнению со старовозрастными и послепожарными лесами) видовом составе отмечено немногим более 70 видов сосудистых растений [21].

Кустарниковый ярус довольно густой, сформирован в основном ивами, среди которых преобладают *Salix coesia* Vill., *S. saposhnikovii.* Из прочих ви-

дов этого яруса обычны *Betula rotundifolia, Lonicera altaica, Myricaria dahurica* (Willd.) Ehrenb., *Pentaphylloides fruticosa* (L.) Schwarz.

В разреженном травяном ярусе с невысоким обилием участвуют высокогорные виды: *Leontopodium ochroleucum* Beauverd., *Carex orbicularis* Boott, *Chamaenerion latifolium* (L.) Th. Fries & Lange, *Elymus schrenkianus* (Fisch. & C.A. Mey.) Tzvel., *Poa alpina* L., *Primula nivalis* Pall., *Hedysarum neglectum, Phlojodicarpus villosus* (Turcz. ex Fisch. & C.A. Mey.) Ledeb. и др.; горные *Aster sibiricus* L., *Carex coriophora* Fisch. & C.A. Mey., *Crepis multicaulis* Ledeb., *Castilleja pallida* (L.) Spreng. и др.; и горно-равнинные виды: *Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Carex capillaris* L., *Festuca rubra* L., *Poa sibirica* и др. Кустарнички, в основном виды ив (*Salix arctica* Pall., *S. rectijulis* Ledeb. ex Trautv., *S. reticulata* L.) и *Dryas oxyodonta* Juz., встречаются с низким обилием, пятнами.

Моховой ярус, в составе которого отмечено 18 видов листостебельных мхов, довольно мозаичен; сформирован в основном *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, которой в примеси сопутствуют *Polytrichum strictum* Brid., *Ditrichum flexicaule* (Schwaeger.) Hampe, *Syntrichia ruralis* Brid., виды рода *Bryum*. На молодом субстрате флювиогляциальных отложений немногочисленные напочвенные лишайники (*Stereocaulon alpinum* Laur., виды рода *Cladonia*) встречаются в основном на каменистых микроповышениях.

Под молодыми лиственничниками развиты аллювиальные глееватые серогумусовые слоистые почвы [24].

В древесном ярусе этих молодых лесов (2 150–2 170 м над ур. м.) кедр сибирский присутствует единично, главным образом во втором ярусе, существуя в диапазонах увлажнения от 65 до 68,3 ступени (3 ступени), активного богатства почв от 7,6 до 9,2 ступени (1,5 ступени, см. рис. 1). Некоторое небольшое снижение увлажнения (на 2–3 единицы), по сравнению со старовозрастными и послепожарными лесами, по-видимому, связано с молодостью почв и промывным режимом во время весенних (таяние снега) и летних (активное таяние ледников) подъемов воды, когда происходит вымывание частиц мелкозема, в основном удерживающих влагу.

Кедр сибирский в верховьях р. Актру формирует современную верхнюю границу леса в составе сообществ ***лесотундрового экотона*** на высотах 2 240–2 475 м над ур. м. В верхней части экотона встречаются единичные далеко отстоящие друг от друга особи кедра различных жизненных форм: невысокие деревца с флаговой формой кроны, кустовидные, стелющиеся особи [26]. Единичные низкорослые особи кедра сибирского встречаются на высоте около 2 475 м над ур. м. [27].

В лесотундровом экотоне кедру сибирскому сопутствуют 139 видов сосудистых растений, 40 видов мхов и 12 видов лишайников.

Участие кедра сибирского в древесном ярусе сообществ нижней полосы экотона составляет 60–80% [27]. На сухом и крутом восточно-юго-восточном склоне кедр образует в основном плотные группы из нескольких

десятков разновозрастных (55–140 лет) деревьев, разделенные обширными остепненными участками. В кустарниковом ярусе преобладает *Juniperus sibirica,* которому сопутствуют *Spiraea flexuosa* Fisch. ex Cambess., *Cotoneaster uniflorus, Berberis sibirica* Pall. Здесь формируется только травяной ярус, почва задернована *Carex macroura, Calamagrostis pavlovii*, *Festuca altaica* Trin.; из кустарничков с низким обилием отмечена *Vaccinium vitis-idaea*. На более влажном западно-северо-западном склоне деревья (возраст 60–195 лет) в группах распределены более или менее равномерно и отделены друг от друга довольно широкими языками ерниково-лишайниковых и ерниково-дриадовых тундр. В кустарниковом ярусе преобладают *Betula rotundifolia* и *Juniperus sibirica.* В этих условиях формируется травяно-кустарничковый ярус с преобладанием *Empetrum nigrum, Vaccinium vitis-idaea, Dryas oxyodonta, Festuca sphagnicola* B. Keller, *Bergenia crassifolia* и низким обилием *Swertia obtusa* Ledeb., *Bistorta vivipara*, *Hedysarum neglectum*, *Viola altaica* Ker-Gavl., *Schulzia crinita* (Pall.) Spreng. На пологом, наиболее увлажненном северном склоне водораздела Актру-Ян-Карасу малочисленные группы низкорослых деревьев кедра сибирского поднимаются наиболее высоко (до 2390 м над ур. м.). В кустарниковом ярусе здесь господствует *Betula rotundifolia*, с низким обилием присутствует *Salix glauca*. В травяно-кустарничковом ярусе абсолютно преобладает высокогорный вид *Dryas oxyodonta*, с более низким обилием участвуют *Festuca sphagnicola*, *Viola altaica*, *Arctous alpina* (L.) Niedenzu., *Bergenia crassifolia*.

Травяно-кустарничковый ярус в экотоне на склонах разной ориентации и крутизны сформирован в первую очередь высокогорными и горными видами: *Dryas oxyodonta*, *Festuca sphagnicola*, *Anthoxanthum alpinum*, *Callianthemum sajanense*, *Carex sempervirens*, *Gastrolychnis tristis*, *Gentiana grandiflora* Laxm., *Hedysarum neglectum*, *Potentilla gelida*, *Aconitum leucostomum*, *Dracocephalum imberbe*, *Bergenia crassifolia*, *Swertia obtusa*, *Schulzia crinita* и др. В его составе участвуют и горно-равнинные виды: *Aegopodium alpestre, Bistorta vivipara*, *Calamagrostis pavlovii*, *Poa sibirica*, *Vaccinium vitis-idaea* и *Empetrum nigrum* и др.

В сообществах лесотундрового экотона мохово-лишайниковый покров развит в основном под группами деревьев и полосами (группами) кустарников. Наибольшее участие в его сложении на том и на другом склоне принимают *Abietinella abietina* (Hedw.) C. Muell. и *Rhytidium rugosum* (Hedw.) Kindb., на восточно-юго-восточном также *Sanionia uncinata.* Из напочвенных лишайников высокое фитоценотическое значение имеют *Cladonia stellaris* и *C. arbuscula* только на западно-северо-западном склоне.

В этих условиях под группами деревьев на грубообломочном субстрате сформированы подбуры слаборазвитые [24].

В условиях лесотундрового экотона на высотах 2 220–2 475 м над ур. м. для кедра сибирского диапазон увлажнения составляет от 63 до 69,6 ступени (6,6 ступени), активного богатства почв – от 6,8 до 9,5 ступени (2,7 ступени) (см. рис. 1).

Как показывает анализ данных, полученных в горно-ледниковом бассейне Актру, на верхней границе распространения кедра сибирского, где значительно разнообразие местообитаний и растительных сообществ с его участием, диапазон экологической толерантности по фактору увлажнения составляет 8 ступеней (от 63 до 70,7) (рис. 1, 2). Большая часть местообитаний кедра сибирского характеризуется влажнолесным увлажнением, и только в верхней части лесотундрового экотона на сухом восточно-юго-восточном склоне, где этот вид встречается единично, очень редкие его местообитания – остепненнолесным увлажнением. Наиболее широкий диапазон по этому фактору выявлен в лесотундровом экотоне (6,6 ступени) и послепожарных лесах (6,4 ступени). Это связано, прежде всего, с более широким набором местообитаний, приуроченных и к сухому крутому восточно-юго-восточному склону, и к более увлажненному, менее крутому западно-северо-западному. Однако в послепожарных лесах, в сравнении с лесотундровым экотоном, пределы толерантности сдвинуты на одну ступень в сторону большего увлажнения. Диапазон экологической толерантности кедра сибирского по фактору активного богатства почв составляет 3 ступени (6,8–9,5). В старовозрастных кедровниках активное богатство почв ниже, чем во всех обследованных в бассейне Актру сообществах: послепожарных лесах, молодых лиственничниках на флювиогляциальных отложениях и сообществах лесотундрового экотона.

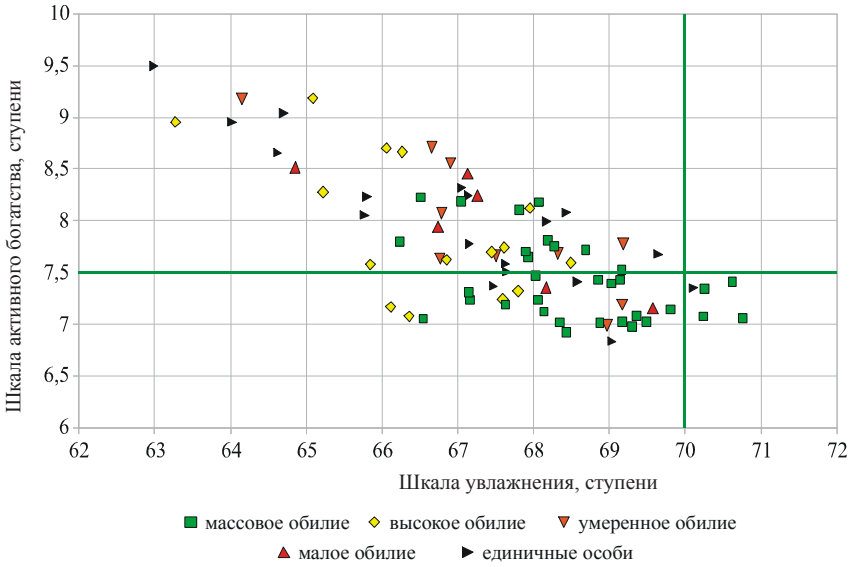



Рис. 2. Ординация обилия *Pinus sibirica* во фрагменте экологического ареала на верхней границе его распространения в Центральном Алтае. Зеленые линии – проекции точек оптимума на фрагмент

Значительный интерес представляет сравнение наших данных и расчетных данных, полученных И.А. Цаценкиным [19] для кедра сибирского в пределах его ареала. Этим автором было установлено, что диапазон его толерантности по фактору увлажнения охватывает 35 ступеней (с 60-й по 94-ю) и соответствует широкому спектру местообитаний с увлажнением от сухолесного до болотного. Зона оптимума кедра сибирского по этому фактору также широка и охватывает 18 ступеней (от 62-й до 79-й) – от свежелесных до сыролесных местообитаний. Диапазон его толерантности по фактору активного богатства почв в пределах ареала охватывает 7 ступеней (с 4-й по 11-ю) – весь спектр условий от бедных до довольно богатых почв. Зона оптимума кедра несколько уже диапазона толерантности и охватывает 5 ступеней (с 5-й по 9-ю), лежащих в спектре условий от бедных до небогатых почв. На основе анализа формул обилия [19] установлено, что согласно положению расчетной точки оптимума (70-я ступень по шкале увлажнения) кедр является эумезофитом. В отношении активного богатства почв этот вид относится к мезотрофам (расчетная точка оптимума 7).

Как показывает анализ полученных нами данных, на верхней границе распространения кедра в Центральном Алтае диапазоны экологической толерантности и по фактору увлажнения (63-я – 71-я ступени), и по фактору активного богатства почв (6,8–9,5 ступени) полностью входят в зону оптимума этого вида, рассчитанную И.А. Цаценкиным [19] для его ареала. В обследованном районе местообитания с массовым обилием кедра по шкале увлажнения охватывают диапазон с 66,2 по 70,8 ступени и сдвинуты от расчетной точки оптимума (70-я ступень) в сторону более низкого увлажнения (рис. 2). По шкале активного богатства почв они занимают диапазон 6,9–8,2 ступени и расположены почти симметрично от расчетной точки оптимума (7,5 ступень) по этому фактору. Серии местообитаний с более низким обилием кедра располагаются по увлажнению в диапазоне 63–70,8 ступени, активному богатству почв – 6,8–9,5 ступени и характеризуются влажнолесным увлажнением и небогатыми почвами (рис. 2).

Здесь, на верхней границе распространения кедра сибирского в Центральном Алтае, зона оптимальных условий лежит по увлажнению в диапазоне 66–71 и занимает 6 ступеней – влажнолесные и сыроватолесные почвы, по активному богатству почв – 6,8–8,3 (1,5) ступени – бедные и небогатые почвы.

Таким образом, в высокогорном бассейне Актру, на верхней границе распространения кедра сибирского, почти весь спектр условий (диапазон толерантности) по рассмотренным выше экологическим факторам находится в пределах зоны оптимума, выявленной И.А. Цаценкиным [19] для его ареала. В связи с этим можно сделать заключение о том, что в современный период распространение этого вида по территории бассейна, и прежде всего его продвижение вверх по склонам долины в горно-тундровый пояс, ограничи-

вается температурой – фактором, который находится на этих абсолютных высотах в минимуме. В настоящее время на верхнем пределе современного распространения кедра сибирского в высокогорьях Северо-Чуйского хребта (2475 м над ур. м.) средние многолетние температуры лета в июне составляют около +7°С, в июле – +8°С, в августе – +7°С, что и определяет современную температурную границу его произрастания в высокогорных сообществах [27].

## Заключение

Исследования эколого-ценотических особенностей кедра сибирского на верхней границе распространения в Центральном Алтае, на абсолютных высотах 2100–2500 м, в условиях дефицита тепла показали, что здесь он занимает значительный набор местообитаний (выположенное днище долины, склоны разной ориентации и крутизны) и участвует в составе древесного яруса разных по происхождению и возрасту лесов и сообществ лесотундрового экотона. В этих условиях кедр сибирский абсолютно преобладает в составе древесного яруса старовозрастных лесов. Его роль значительно снижается в лесах послепожарного происхождения, а также в молодых лиственничниках на флювиогляциальных отложениях. В сообществах лесотундрового экотона участие кедра сибирского значительно только в его нижней части, где этот вид преобладает в составе групп деревьев. Весь спектр условий (диапазон толерантности) по факторам увлажнения и активного богатства почв находится в пределах зоны оптимума, выявленной для ареала этого вида. На верхней границе своего распространения в Центральном Алтае кедр сибирский занимает серии местообитаний с влажнолесным увлажнением, на бедных и небогатых почвах и проявляет себя как мезотроф и эумезофит.

## *Литература*

1. *Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф.* Кедр. М. : Лес. пром., 1983. 218 с.
2. *Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск : Наука. Сиб. отдел., 1986. 225 с.
3. *Таланцев Н.К., Пряжников А.Н., Мишуков Н.П.* Кедровые леса. М. : Лес. пром., 1978. 175 с.
4. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск : Изд-во СО АН СССР, 1960. 450 с.
5. *Некрасова* Т.П. Биологические основы семеношения кедра сибирского. Новосибирск : Наука, 1972. 274 с.
6. *Сапожников В.В.* Катунь и ее истоки. Путешествия 1897–1899 гг. Томск : Паровая типо-литография П.И. Макушина, 1901. 271 с.
7. *Леса* Монгольской народной Республики (география и типология). М. : Наука, 1978. С. 22–35.
8. *Крылов А.Г., Речан С.П.* Лесорастительное районирование и типы леса // Леса Горного Алтая. М. : Наука, 1965. С. 28–144.

9. *Крылов А.Г., Речан С.П.* Типы кедровых и лиственничных лесов Горного Алтая. М. : Наука, 1967. 222 с.
10. *Смагин В.Н., Ильинская С.А., Назимова Д.И.* и др. Типы лесов гор южной Сибири. Новосибирск : Наука, 1980. 336 с.
11. *Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г.* Верхняя граница леса в горах бореальной зоны СССР и ее динамика // Ботанический журнал. 1977. Т. 62, № 11. С. 1560–1571.
12. *Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г.* Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М. : Наука, 1985. 208 с.
13. *Тронов М.В.* Очерки оледенения Алтая. М. : Географгиз, 1949. 375 с.
14. *Севастьянов В.В.* Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1998. 201 с.
15. *Тронов М.В., Тронова Л.Б., Белова Н.И.* Основные черты климата горно-ледникового бассейна Актру // Гляциология Алтая. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 3–48.
16. *Тронов М.В., Лупина Н.Х., Тронова Л.Б.* К вопросу о климатической репрезентативности горно-ледникового бассейна Актру // Материалы гляциологических исследований. М., 1971. № 18. С. 28–42.
17. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
18. *Прокопьев Е.П.* Экология растений (особи, виды, экогруппы, жизненные формы). Томск : Изд-во Том. ун-та, 2001. 340 с.
19. *Цаценкин И.А., Савченко И.В., Дмитриева С.И.* Методические указания по экологической оценке кормовых угодий тундровой и лесной зон Сибири и Дальнего Востока по растительному покрову. М. : ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1978. 302 с.
20. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.
21. *Тимошок Е.Е., Скороходов С.Н., Тимошок Е.Н.* Флора высокогорных лесов верховий р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2010. № 4. С. 351–371.
22. *Бочаров А.Ю.* Структура и динамика высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай) в условиях изменения климата // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 352. С. 203–206.
23. *Давыдов В.В. Тимошок Е.Е.* Формирование почв в постгляциальных условиях Северо-Чуйского хребта // Сибирский экологический журнал. 2010. № 3. С. 505–514.
24. *Давыдов В.В.* Почвы высокогорных лесов Алтая // Вестник Томского государственного университета. Приложение. Материалы международных, всероссийских и региональных научных конференций, симпозиумов, школ, проводимых в ТГУ. 2005. № 15. С. 223–224.
25. *Галахов В.П., Нарожный Ю.К., Никитин С.А. и др.* Ледники Актру (Алтай). Л. : Гидрометеоиздат, 1987. 117 с.
26. *Смелянцева Е.О., Тимошок Е.Е.* Возрастные особенности и онтогенетическая структура насаждений кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в лесотундровом экотоне Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) // Измерения, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды. Томск : Изд-во Том. ЦНТИ, 2006. С. 131–135.
27. *Тимошок Е.Е., Филимонова Е.О., Пропастилова О.Ю.* Структура и формирование древостоев в экотоне верхней границы древесной растительности Северо-Чуйского хребта // Экология. 2009. № 2. С. 187–194.

*Поступила в редакцию 15.05.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 171–184***
doi: 10.17223/19988591/20/15

**Elena E. Timoshok, Sergey N. Skorokhodov, Evgeny N. Timoshok**

*Institute of Climatic and Ecological Systems Monitoring of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

## ECOLOGICAL AND COENOTIC DESCRIPTION OF SIBERIAN STONE PINE *(Pinus sibirica* Du Tour*)* AT THE HIGHEST LINE OF ITS DISTRIBUTION IN THE CENTRAL ALTAI

*A part of high boundary of Siberian stone pine (Pinus sibirica Du Tour.) distribution in the Central Altay is situated at the most high-altitude part of Severo-Chuisky range (glacier basin Actru), at the altitudes 2 100–2 500 m a.s.l. Siberian stone pines are involved in forming tree storey of old-age forests, postfire Pinus-Larix forests, Larix and Pinus forests, young Larix forests on fluvioglatial deposits and in the forest-tundra ecotone of this area. Pinus sibirica absolutely predominates in the tree storey of old-age periglacial forests. These forests are situated at altitudes 2 100–2 300 m a.s.l. Siberian stone pine is an edificator of these forests, it constitutes 90–100% of tree storey and exists between 65.1 and 70.7 stage of I.A. Tsatsenkin moistening scale and between 6.6 and 8.6 stage of active soil richness of I.A. Tsatsenkin.*

*Siberian stone pine plays also a different role in the postfire Pinus-Larix forests. Its constitution depends on angle and exposition of slopes. It predominates in small fragments of young Pinus sibirica forests here. In the tree-storey it constitutes 10–20% of trees and in the Larix forests there are only single trees of this species. In these forests Siberian stone pine grows between 64 and 68.3 stages of moistening scale and between 7 and 9.4 stages of active soil richness scale.Young individuals of Siberian stone pine are present in tree-storey of young Larix forests on fluvioglacial deposits at the bottom of Aktru river as single trees. Here, Pinus sibirica survives between 65 and 68.3 stages of moistening scale and between 7.6 and 9.1 stages of active soil richness. At the head of Aktru river Pinus sibirica forms a modern high forest line in the forest-tundra ecotone communities. In the highest part of the ecotone there can be encountered only singular individuals of Siberian stone pine. At a lower line of the ecotone Siberian stone pine constitutes 60–80% of all trees. Moistening in the ecotone lies between 62.8 and 69.6 stages and active soil richness between 6.8 and 9.5 stages.*

*By means of ordination on the basis of standard ecological scales ,it was determined that with a significant diversity of habitats and plant communities with Pinus constitution, the range of tolerance for the species are 8 stages (from 62.8 to 70.7) according to the moistering scale and 3 stages (6.6 to 9.5) according to the soil richness scale. It was established that Siberian stone pine at the highest boundary of its proliferation occupies habitat series with moist-forest moistening and poor soils and proves to be mesotroph and eumesophyt.*

**Key words:** *Pinus sibirica; environmental factors; Central Altai.*

*Received May 15, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 185–194*

# ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 513.234
doi: 10.17223/19988591/20/16

**Н.А. Брыксина[1], С.Н. Кирпотин[2]**

*[1] Балтийский федеральный университет им. И. Канта (г. Калининград)*
*[2] Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*

## ЛАНДШАФТНО-КОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ И КОЛИЧЕСТВА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Работа выполнена при поддержке CAR-WET-SIB «Biogeochemical cycle of carbon in wetlands of Western Siberia» GDRI (Groupement de recherche international) project, грантов РФФИ 08-04-92495-CNRS_а, 11-05-90761-моб_ст, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК № 14.740.11.0935), программы INTERACT Transnational Access.

*Рассмотрены методические вопросы исследования динамики термокарстовых озерных ландшафтов на территории многолетней мерзлоты севера Западной Сибири на основе использования данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Приведены данные об относительном изменении суммарной площади и количества термокарстовых озер за 35-летний период в различных ландшафтных зонах и подзонах. Обсуждены возможные причины изменения площадей термокарстовых озер.*

**Ключевые слова:** *климатические изменения; многолетняя мерзлота; термокарстовые озерные ландшафты; космические снимки.*

### Введение

Исследование состояния многолетних мерзлых пород (ММП) на территории севера Западной Сибири в условиях наблюдаемых климатических изменений становится все более актуальным: здесь расположены почти все газовые и большинство нефтяных месторождений региона [1]. Снижение прочности многолетнемерзлых пород вследствие глобального потепления, вызывающего активизацию термокарстовых процессов, приводит к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса, большим экономическим и экологическим ущербам [2]. В этих условиях изучение изменений ММП и особенностей динамики мерзлотных ландшафтов является проблемой, решение которой вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли.

Анализ литературных источников по использованию таких данных в геокриологических исследованиях показал, что хорошо дешифрируемые на космических снимках термокарстовые озера являются наиболее информативными индикаторами современных тенденций развития криолитозоны, криогенных изменений рельефа и функционирования мерзлотных ландшафтов [3, 4]. Дистанционные исследования термокарстовых озер проводятся как в России, так и за рубежом [5–8]. Однако в большинстве случаев исследование динамики термокарста ограничивается мелкомасштабным качественным анализом тенденций изменения площадей и количества озер по природным провинциям, геокриологической интерпретацией полученных результатов исследований.

Целью настоящей работы является проведение средне- и крупномасштабного (на ключевых участках) ландшафтного анализа размещения термокарстовых озер с учетом количественных данных о динамике их полей, полученных путем дистанционных измерений площадей распространения по северу Западной Сибири с использованием разновременных космических снимков.

## Материалы и методики исследования

Для проведения исследования динамики площадей термокарстовых озер территории Западной Сибири было выбрано 30 тестовых участков. Выбор тестовых участков проводился с учетом специфики зонально-ландшафтной дифференциации территории бывшей Тюменской области, включавшей в себя до 1993 г. ныне самостоятельные субъекты Российской Федерации – Ямало-Ненецкий (ЯНАО) и Ханты-Мансийский (ХМАО – Югра) автономные округи [9]. Заметим, что соответствующая зонально-ландшафтная дифференциация территории сохраняется и в Атласах ХМАО – Югры и ЯНАО, что позволяет в данном вопросе использовать материалы как старого, так и новых Атласов [10, 11]. В связи с тем что последние оказались более труднодоступными материалами для решения нашей задачи, мы использовали ландшафтную карту бывшей Тюменской области. В каждой ландшафтной зоне (подзоне) выбиралось по несколько тестовых участков (рис. 1), позволяющих исследовать закономерности изменения термокарстовых процессов в зависимости от ландшафтной специфики и природного районирования территории. Расположение тестовых участков по ландшафтным зонам дано в таблице.

Исследования динамики полей термокарстовых озер проведены с использованием разновременных космических снимков Landsat за период 1973–2008 гг. На каждый из тридцати тестовых участков имелось от 3 до 6 безоблачных снимков Landsat. Всего на тридцати тестовых участках было собрано 106 безоблачных снимков Landsat. Снимки были получены из архива Global Land Cover Facility. Обработка космических снимков проведена с использованием стандартных средств геоинформационной системы ENVI 4.4. На каждом из тестовых участков определялось от нескольких сотен до нескольких тысяч термокарстовых озер различных размеров.

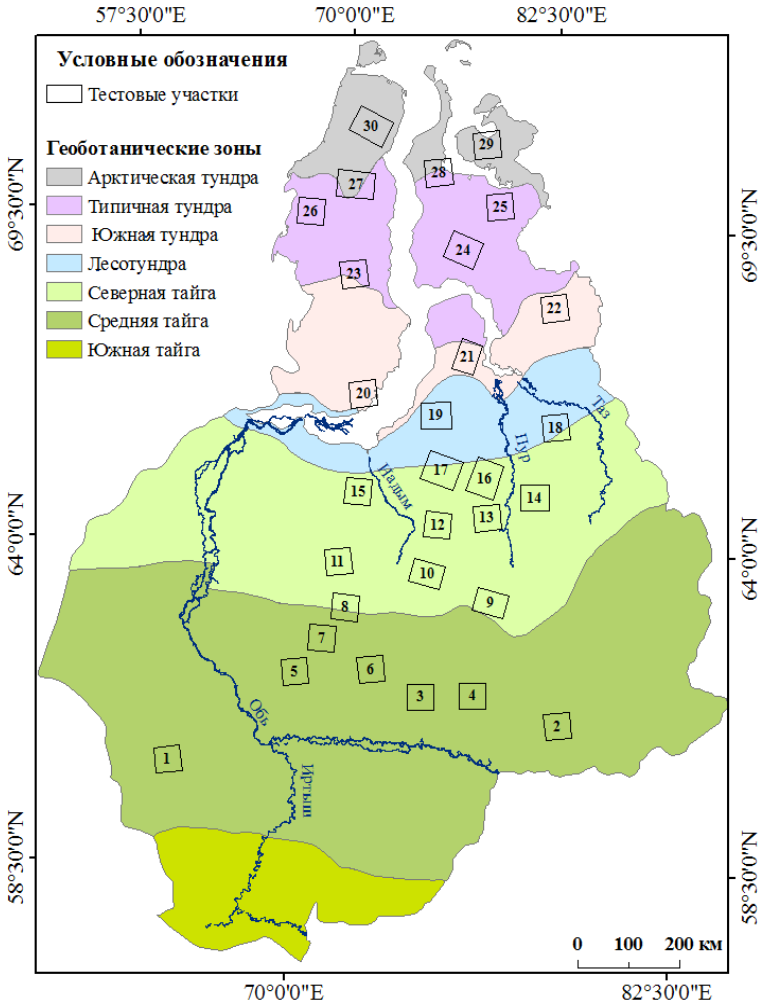



Рис. 1. Карта-схема ландшафтного районирования территории севера Западной Сибири с обозначенными границами тестовых участков [7]

**Распределение тестовых участков по ландшафтным зонам (подзонам)**

| Ландшафтная зона (подзона) | Количество ТУ | Номера ТУ |
|---|---|---|
| Арктическая тундра | 4 | ТУ-27–ТУ-30 |
| Типичная тундра | 4 | ТУ-23–ТУ-26 |
| Южная тундра | 3 | ТУ-20–ТУ-22 |
| Лесотундра | 2 | ТУ-19–ТУ-18 |
| Северная тайга | 9 | ТУ-9–ТУ-17 |
| Средняя тайга | 8 | ТУ-1–ТУ-8 |

## Результаты исследования и обсуждение

По результатам измерения площадей озер был проведен количественный анализ изменения площадей озер и числа исчезнувших и вновь образовавшихся озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) в зависимости от географической широты.

На каждом из тридцати тестовых участков были рассчитаны суммарные площади озер в разные годы наблюдений и определены абсолютные и относительные величины их изменения за период наблюдений (1973–2008 гг.).

Величина относительного изменения суммарной площади определялась как

$$R = (S_{\hat{e}} - S_i)/S_i \ , \qquad (1)$$

где $S_{\hat{e}}$ и $S_i$ – суммарные площади озер на тестовом участке в конечный и начальный годы исследования соответственно.

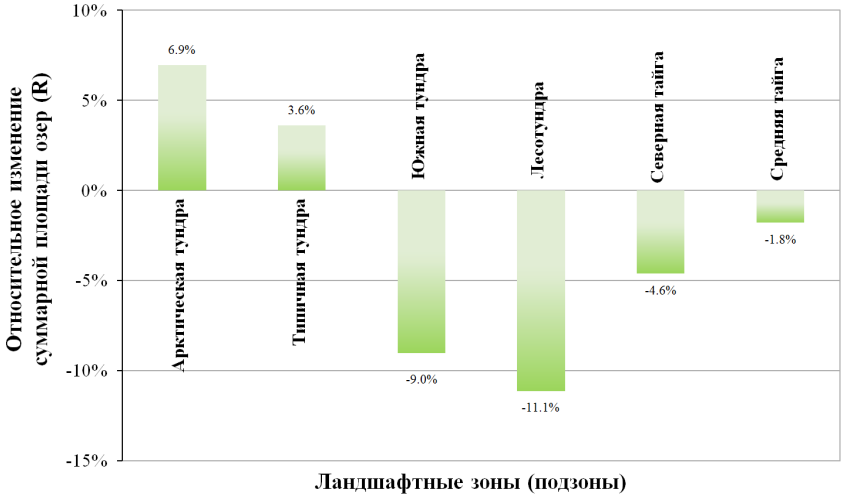



Рис. 2. Среднее значение относительного изменения суммарной площади озер в ландшафтных зонах и подзонах

На рис. 2 приведена диаграмма величин относительного изменения суммарной площади озер (R), усредненных по тестовым участкам, расположенным в различных ландшафтных зонах (подзонах). Как видно из рис. 3, увеличение суммарной площади озер наблюдается только в двух подзонах: арктической (+3,6%) и типичной (+7%) тундры. В ландшафтных зонах (подзонах) южной тундры, лесотундры, северной и средней тайги значение величины R<0 и, следовательно, преобладают процессы, вызывающие сокращение суммарной площади озер. Так, величина относительного изменения

суммарной площади озер в зоне лесотундры и подзоне южной тундры составляет –11,1 и –9% соответственно.

Таким образом, в большинстве ландшафтных зон и подзон преобладает процесс сокращения суммарных площадей озер, сопровождающийся осушением озерной котловины. В связи с этим интересно рассмотреть изменение количества исчезнувших озер за период проведенного исследования в разных ландшафтных зонах (подзонах).

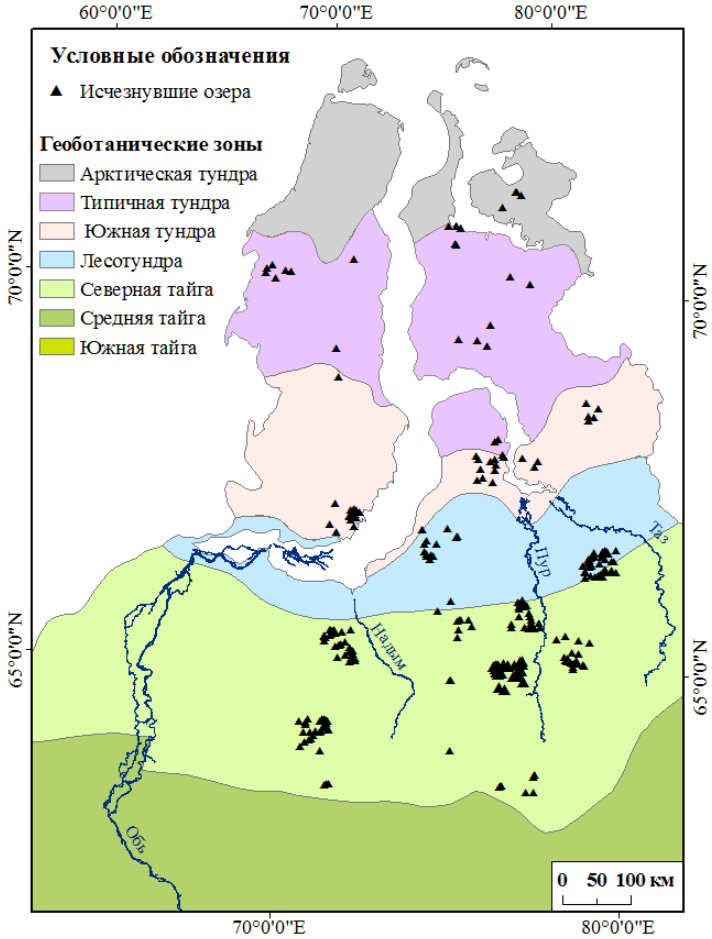
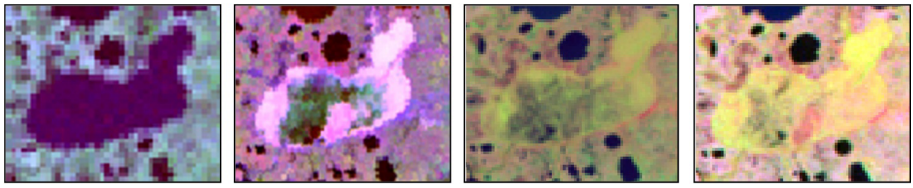



Рис. 3. Расположение центров исчезнувших озер на карте-схеме районирования ландшафтных зон (подзон) территории севера Западной Сибири [7]

На рис. 3 приведена карта-схема центров расположения исчезнувших озер, обозначенных треугольниками, по ландшафтным зонам (подзонам) территории Западной Сибири. Как видно из рис. 3, наибольшая плотность

центров исчезнувших озер сосредоточена в подзоне северной тайги, а наименьшая – в подзонах тундры, с преобладанием ее в арктической тундре, что может объясняться разнонаправленностью термокарстового процесса в рассматриваемых ландшафтных зонах.

На рис. 4 для иллюстрации показаны фрагменты разновременных космических снимков Landsat, представляющие последовательные стадии осушения озерной котловины на тестовом участке 9 за период 1973–2007 гг. [12].



*а* *б* *в* *г*

Рис. 4. Фрагменты космических снимков Landsat с изменениями площади водной поверхности озер во времени: *а* – Landsat -1 (10.08.1973 г.); *б* – Landsat-5 (26.06.1988 г.); *в* – Landsat-7 (10.08.2001 г.); *г* – Landsat-7 (19.08.2007 г.)

С использованием программы Excel проведен статистический анализ изменения количества исчезнувших и вновь образовавшихся озер на каждом тестовом участке. На рис. 5 и 6 приведено распределение количества исчезнувших и вновь образовавшихся озер по географической широте расположения тестового участка.

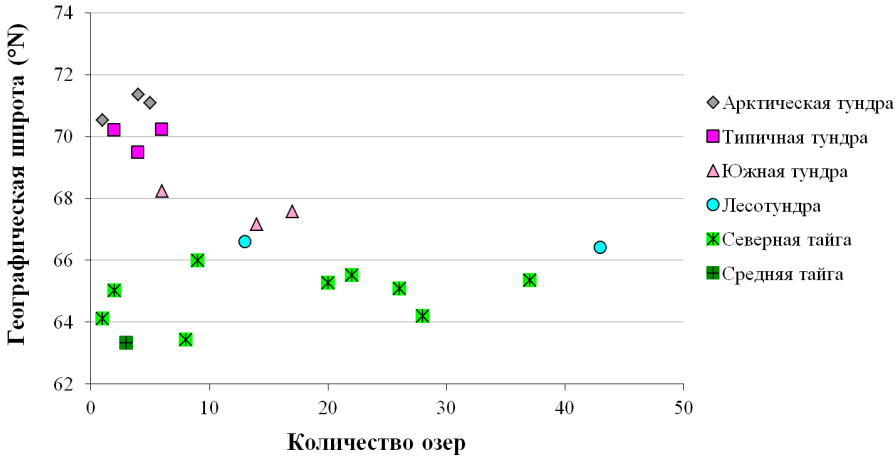



Рис. 5. Распределение количества исчезнувших озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) по географической широте

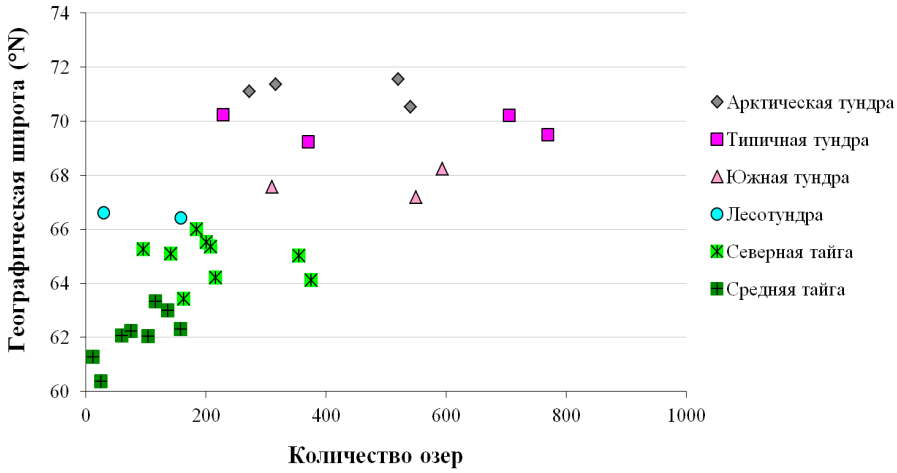



Рис. 6. Распределение количества вновь образовавшихся озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) по географической широте

На рис. 5 и 6 видно, что севернее 68° с.ш. в зоне тундры количество исчезнувших озер на тестовых участках заметно уменьшается (рис. 5), а количество вновь образовавшихся (рис. 6), наоборот, увеличивается. Южнее 68° с.ш. наблюдается противоположная тенденция: увеличивается количество исчезнувших озер и сокращается число вновь образовавшихся (рис. 5–6). Общее количество исчезнувших озер за период 1973–2008 гг. составило 273. Общая площадь осушенной водной поверхности по состоянию на 1973 г. составила 10467,9 га. За период исследования количество вновь образовавшихся озер с площадью в пределах 4–10 га составило около 8 тыс. с общей площадью водной поверхности 13648,7 га.

По мнению А.А. Земцова [13], сокращение площадей озер может быть обусловлено новейшими тектоническими движениями отдельных блоков территории, вызывающими полное или частичное осушение котловин озер. Если же озерная система или отдельные крупные озера находятся в пределах уплощенных фрагментов центральной части равнины, то существенного осушения озер может не произойти, так как эта часть поднимается равномерно, захватывая всю систему озер.

Другие причины сокращения озер рассмотрены в работах [5, 7, 8, 15, 16]. Согласно работе [7], возможными причинами сокращения площадей озер могут быть почвенный дренаж при оттаивании мерзлоты при повышении температуры почвы как следствие потепления климата либо транспирация (испарение) растительностью, интенсивность которой возрастает с повышением температуры воздуха. В работе [5] авторы совершенно правильно указывают, что наблюдения за динамикой термокарстовых озер следует проводить, охватывая весь спектр разнообразных условий развития термокарста.

Один из возможных механизмов спуска воды из термокарстовых озер за счет почвенного дренажа рассмотрен в работе [15]. Согласно данным исследованиям, крупные озера, как правило, более старые и имеющие более низкий уровень водного зеркала по сравнению с окружающими мелкими озерами, создают условия для спуска воды из мелких озер в соседние, более крупные, за счет почвенного дренажа при оттаивании почвы. Так как при этом площадь крупного озера мало изменяется, то общая площадь озер в среднем уменьшается за счет осушения соседних мелких неглубоких озер. Этот фактор действует постоянно, на протяжении всего короткого летнего периода, при этом крупные озера работают как водосборные ёмкости.

Дренаж озер может являться показателем усиления заболоченности территорий по принципу регрессивно-топяной эволюции, когда в результате самоподтопления торфяника процесс торфообразования возобновляется. Это положение рассмотрено в работе [16] и предполагает: спуск болотных озер в результате русловой эрозии внутриболотных ручьев и рек, неравномерную эрозию берегов озер и увеличение их акваторий за счет слияния соседних крупных озер, их обмеление, возобновление зарастания озер и наступление болот на суходолы. Всё это создает сложную картину коэволюции озерных термокарстовых и грядово-мочажинно-озерных болотных ландшафтов. В.И. Кравцова особо отметила в работе [5] распространение подобных процессов на склонах Сибирских Увалов и в подзоне островной мерзлоты в целом.

## Заключение

Исследование изменения площадей и числа термокарстовых озер на тестовых участках проводилось для всей совокупности озер с площадью более 4 га. Как показали результаты дистанционного исследования, на территории Западной Сибири наблюдаются два контрастных процесса развития термокарста, проявляющиеся в увеличении или сокращении площадей и числа термокарстовых озер в разных ландшафтных зонах (подзонах).

Процесс увеличения суммарной площади термокарстовых озер до 7% наблюдается в двух подзонах – арктической и типичной тундре. На фоне увеличения суммарной площади озер в зоне тундры наблюдается увеличение количества вновь образовавшихся озер, что можно связывать с протаиванием многолетнемерзлых грунтов вследствие потепления климата. В большинстве ландшафтных зон и подзон происходит сокращение суммарной площади термокарстовых озер до 11%, приводящее впоследствии к осушению озерной котловины и образованию хасыреев. Этот вывод подтверждается и данными других исследований [6–8], проведенных в этих ландшафтных зонах.

Обсуждаются возможные причины сокращения площадей озер, обусловленные тектоническим режимом или изменением климата. Высказывается предположение о том, что механизм спуска воды из термокарстовых озер

за счет почвенного дренажа при оттаивании почвы под воздействием потепления климата может являться основной причиной усиления развития термокарста и связанного с ним в среднем сокращения суммарной площади термокарстовых озер на территории Западной Сибири. Однако, как правильно указывают авторы в работе [5], наблюдения за динамикой термокарстовых озер следует проводить, охватывая весь спектр разнообразных условий развития термокарста.

## *Литература*


1. *Вечная* мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М. : ГЕОС, 2002. 402 с.
2. *Анисимов О., Лавров С.* Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК. 2004. № 3. С. 78–83.
3. *Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Крицук Л.Н.* Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. М. : Недра, 1974. 132 с.
4. *Некрасов И.А., Петропавловская М.С.* Опыт применения космических снимков для геокриологического картирования // Исследование Земли из космоса. 1983. № 2. С. 14–20.
5. *Кравцова В.И., Быстрова А.Г.* Изучение динамики термокарстовых озер России // Геоинформатика. 2009. № 1. С. 44–51.
6. *Махатков И.Д.* Динамика озерных берегов в криолитозоне Западной Сибири на космических снимках // Горный информационный аналитический бюллетень. 2009. Отд. вып. 17: Кузбасс-2. С. 221–224.
7. *Riordan B., Verbyla D., McGuire A.D.* Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111. G04002, doi:10.1029/2005JG000150.
8. *Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D.* Disappearing Arctic Lakes // Science. 2005. Vol. 308, № 3. P. 14.
9. *Атлас* Тюменской области / отв. ред. Л.А. Галкина. Москва ; Тюмень : ГУГК, 1971. Вып. 1. 216 с.
10. *Атлас* Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск ; Москва, 2004. Т. 2. 152 с.
11. *Атлас* Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск : Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
12. *Брыксина Н.А., Евтюшкин А.В., Полищук Ю.М.* Изучение динамики изменений термокарстовых форм рельефа с использованием космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4, № 2. С. 123–128.
13. *Земцов А.А.* Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск : Изд-во Том. ун-та, 1979. 343 с.
14. *Воскресенский С.С.* Геоморфология Сибири. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1962. С. 166–168.
15. *Kirpotin S. et al.* One of the possible mechanisms of thermokarst lakes drainage in West-Siberian North // Int. J. Envir. Studies. 2008. Vol. 65, № 5. P. 631–635.
16. *Иванов К.Е., Новиков С.М.* Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. Л. : Гидрометеоиздат, 1976. 446 с.


*Поступила в редакцию 23.05.2012 г.*

*Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 185–194*
doi: 10.17223/19988591/20/16

**Natalia A. Bryksina[1], Sergey N. Kirpotin[2]**

[1]*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*
[2]*Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## LANDSCAPE-SPACE ANALYSIS OF CHANGE OF THERMOKARST LAKES AREAS AND NUMBERS IN THE PERMAFROST ZONE OF WEST SIBERIA

*Methodological questions of thermokarst lakes landscape dynamics in West Siberia permafrost territory based on Landsat space images taken at different time during warm seasons of the period 1973–2008 and GIS-tools were considered. The study used the data on the areas (sizes) of the thermokarst lakes which had developed. This was done by using satellite imagery for 30 test sites, located in different landscape zones and subzones of Western Siberia. Test sites were chosen so as to cover the entire territory of the research more evenly.*

*The research into the multiyear dynamics of thermokarst lakes in West Siberia north was carried out by means of lakes areas measurement using a collection of space images taken at different time in the above 30-year period. Areas of thermokarst lakes on all studied test sites were measured on the basis of satellite images. The total number of lakes was from several hundreds to several thousands. Measurements of lake areas were carried out with the help of geoinformation systems (GIS) ERDAS Imagine 8.3 and ENVI 4.4. The array of measured data was analyzed statistically for thermokarst changes research.*

*Summarized areas of thermokarst lakes were determined on each test site for the observation period for determing relative changes of lakes areas. The dependence of summarized area of thermokarst lakes on each test site at latitudes was determined. The study of multiyear changes of thermokarst lakes showed that in the landscape zones of arctic and typical tundra thermokarst lakes expanded their areas by about 7%. It was shown that in other landscape zones and subzones, lakes areas decreased, on average, by about 10–11%. The data about change of thermokarst lake numbers are given for a 35-year period in different landscape zones and subzones. The total of the disappeared lakes during 1973–2008 made 273. The total area of the drained lakes water surface made 10467.9 hectares in 1973. The area of new lakes changed from 4 to 10 hectares. During the research their quantity made about 8 thousand with the total water surface area 13648.7 hectares. Possible factors of thermokarst lake areas change are discussed. The mechanism of drain water draining from small lakes to large lakes, connected with the acceleration of soil drainage with an increasing temperature is considered, which explains the general shrinking of the lake areas owing to global warming.*

**Key words:** *climatic changes, permafrost, thermokarst lake landscapes, space images.*

*Received May 23, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 195–202*

УДК 574.635
doi: 10.17223/19988591/20/17

**Д.С. Воробьев[1, 2], Ю.А. Франк[2, 3], С.В. Лушников[3]**

*[1]Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа (г. Томск)*
*[2]Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*
*[3] Научно-техническое объединение «Приборсервис» (г. Томск)*

# ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЧЕРВЕЙ *Limnodrilus hoffmeisteri* НА ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОТ НЕФТИ

*Исследовано влияние плотности червей-лимнодрилусов на процессы деструкции нефти в илах в двух температурных режимах. Установлено, что по мере увеличения количества червей (2 500 экз./м$^2$ – 5 000 экз./м$^2$ – 10 000 экз./м$^2$) наблюдалось статистически значимое ($p < 0,05$) снижение содержания нефти в илах. При низких температурах воды (5°С) процессы очищения, в среднем, проходили активнее, чем при температуре 21–22°С. Показана возможность использования технологии очистки донных отложений от нефти с использованием червей-тубифицид в зимний период с содержанием растворенного кислорода в воде не менее 5–6 мг/л.*

**Ключевые слова**: *донные отложения; ил; нефтяное загрязнение; тубифициды; очистка водоемов.*

## Введение

Решение экологических проблем нефтезагрязненных территорий и акваторий – одна из важных и актуальных задач нефтедобывающих компаний. Несмотря на разнообразный спектр технологий по очистке и восстановлению нефтезагрязненных сред, данная проблема окончательно не решена.

За последние годы только в морских водах произошло несколько глобальных катастроф, сопровождающихся загрязнением водных объектов (в Испании, на Сахалине, Ладоге, Амуре), в результате которых в морские воды вылились сотни тысяч тонн нефти. Многие акватории уже потеряли способность к самоочищению и превратились в практически мертвые районы [1]. По данным Ростехнадзора, не отвечает нормам по содержанию загрязняющих веществ в водах порядка 40% поверхностных и 17% подземных источников питьевого водоснабжения. В категорию «загрязненные» уже перешли такие реки, как Волга, Ока, Кама, Дон, Северная Двина и другие реки России. До 90% сточных вод попадают в водоёмы практически без очистки. От 35 до 60% населения России употребляют воду, не соответствующую санитарным нормам питьевой воды [2].

Целью нашей работы явилось исследование влияния плотности червей-лимнодрилусов на активность процессов деструкции нефти в донных отло-

жениях для оптимизации технологии очистки донных отложений с использованием червей-тубифицид [3].

## Материалы и методики исследования

В эксперименте использовали распространенный вид тубифицид – *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862. Обладая высокой экологической пластичностью, лимнодрилус встречается практически во всех пресноводных объектах. Лимнодрилус, питаясь иловыми отложениями и мелким детритом, становится активным минерализатором органических веществ и биофильтратором воды [4].

В качестве субстрата для червей использовали ил, отобранный в условно чистом озере вблизи г. Томска и процеженный через мельничный газ № 19 для удаления грубого растительного детрита. Для «стерилизации» ила (уничтожения макробеспозвоночных животных, коконов олигохет и др.) его раскладывали в герметичные емкости-кюветы и в течение 5 ч выдерживали в термостате при температуре 70–72°С.

Перед закладкой эксперимента ил сметанообразной консистенции помещали в 5-литровые емкости и добавляли различное количество нефти. Загрязненный ил находился в емкостях в течение 7 сут для прохождения процессов сорбции, где проводилось ежедневное перемешивание в течение 5–7 мин. Для проведения эксперимента был подготовлен загрязненный ил с различным содержанием нефти: № 1 – 2,35 г/кг; № 2 – 5,45 г/кг; № 3 – 11,19 г/кг. Химический анализ массовой концентрации нефти в илах проводился в аккредитованной лаборатории природных превращений нефти Института химии нефти СО РАН методом ИК-спектрометрии на приборе «SPECORD M–80» («Carl Zeiss Jena», Германия) по РД 39-0147098-015-90.

Через 7 сут после загрязнения ил помещался в емкости объемом 200 мл по 35 г в каждую по две повторности. Ил взвешивали на электронных весах марки «Krups» (Германия) с дискретностью 1,0 г. Емкости медленно (чтобы избежать размытия слоя ила на дне) наполняли отстоянной в течение 3 сут водопроводной водой (по 150 мл). После заполнения емкостей водой производили посадку взрослых лимнодрилусов: в контрольные емкости червей не помещали; в опытные емкости помещали лимнодрилусов, плотность 2 500, 5 000 и 10 000 экз./м$^2$. Экспериментальные емкости были помещены в светонепроницаемые ящики, чтобы исключить процессы фотоокисления нефти. Эксперимент проводился в двух температурных режимах: при температуре воды 21–22°С и 5°С. Аэрация воды в емкостях на протяжении всего эксперимента и кормление червей не проводились. Еженедельно доливали отстоянную водопроводную воду во все емкости до первоначального уровня. Длительность эксперимента составила 6 месяцев со дня посадки червей. Для математико-статистического анализа данных использовался алгоритм парного критерия Вилкоксона [5]. Статистическая обработка дан-

ных и построение графиков выполнены в программе Microsoft Office Excel 2003 («Microsoft Corporation», США). Данные представлены в виде средней арифметической с ошибкой.

## Результаты исследования и обсуждение

Полученные результаты по содержанию нефти в экспериментальных емкостях через 6 месяцев посадки червей выявили тенденцию ускорения процессов очистки донных отложений от нефти по мере увеличения плотности лимнодрилусов. Во всех экспериментальных емкостях наблюдалось снижение содержания нефти по сравнению с исходным грунтом (рис. 1). Снижение содержания нефти в илах в емкостях без червей (контрольные емкости) наблюдалось как при высоких, так и при низких температурах воды (табл. 1).

Таблица 1

**Отношение концентраций нефти «*исходный грунт / контроль*» через 6 месяцев**

| Температура воды, °С | Исходная концентрация | | | Ā ± m |
|---|---|---|---|---|
| | № 1 (2,35 г/кг) | № 2 (5,45 г/кг) | № 3 (11,19 г/кг) | |
| 21–22 | 1,8 ± 0,5 | 1,7 ± 0,4 | 1,7 ± 0,4 | 1,73 ± 0,03 |
| 5 | 1,3 ± 0,3 | 1,2 ± 0,3 | 1,6 ± 0,4 | 1,37 ± 0,12 |

*Примечание.* Здесь и далее содержание нефти в донных отложениях в исходных концентрациях.

В среднем, при температуре 21–22°С содержание нефти в контрольных емкостях снизилось в 1,73 раза; при температуре 5°С – в 1,37 раза. Снижение концентрации нефти связано в большей степени с физико-химическими и микробиологическими аспектами самоочищения нефтезагрязненных отложений. По результатам эксперимента прослеживается зависимость очищения донных отложений от плотности червей (табл. 2).

Таблица 2

**Отношение концентраций нефти *«контроль / опыт»* (*«ил без червей / ил с червями»*) через 6 месяцев**

| Плотность червей, экз./м$^2$ | 21–22°С | | | Ā ± m | 5°С | | | Ā ± m |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Исходная концентрация | | | | Исходная концентрация | | | |
| | № 1[1] | № 2 | № 3 | | № 1 | № 2 | № 3 | |
| 2 500 | 1,0 ± 0,3 | 1,2 ± 0,3 | 1,1 ± 0,3 | 1,13 ± 0,07 | 1,4 ± 0,3 | 1,2 ± 0,3 | 1,1 ± 0,3 | 1,24 ± 0,08 |
| 5 000 | 1,0 ± 0,3 | 1,3 ± 0,3 | 1,5 ± 0,4 | 1,30 ± 0,14 | 1,4 ± 0,4 | 1,2 ± 0,3 | 1,4 ± 0,3 | 1,35 ± 0,06 |
| 10 000 | 1,0 ± 0,3 | 1,5 ± 0,4 | 1,6 ± 0,4 | 1,39 ± 0,18 | 1,4 ± 0,3 | 1,6 ± 0,4 | 1,4 ± 0,4 | 1,47 ± 0,07 |
| Ā ± m | 1,0 | 1,33 ± 0,09 | 1,40 ± 0,15 | 1,24 ± 0,08 | 1,4 | 1,33 ± 0,13 | 1,30 ± 0,10 | 1,34 ± 0,05 |

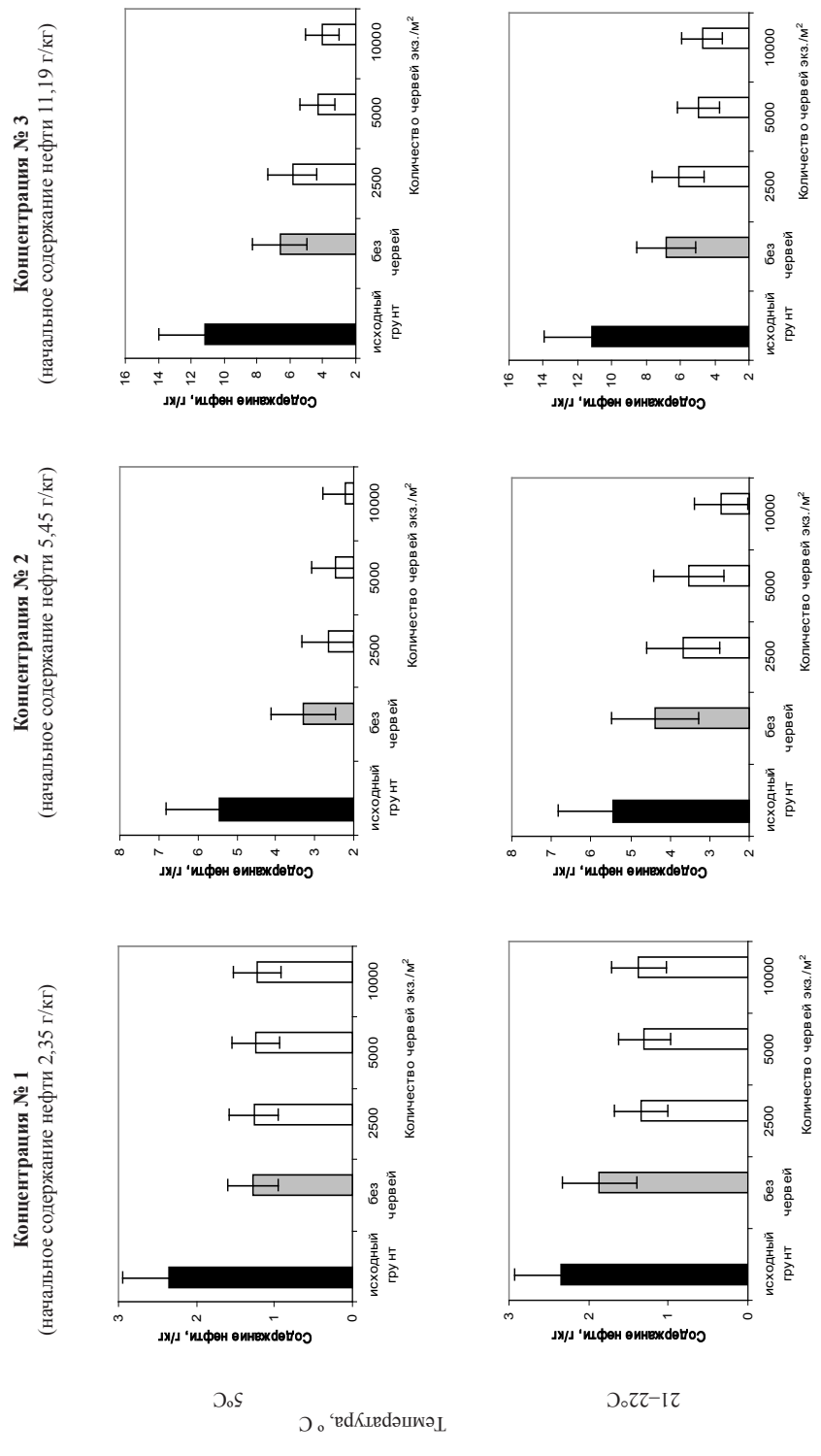



Рис. 1. Содержание нефти (г/кг воздушно-сухого ила) в экспериментальных емкостях через 6 месяцев после начала эксперимента; «исходный грунт – ил» на момент постановки эксперимента (посадки червей)

Следует отметить, что при низких температурах воды (5°С) процессы очищения, в среднем, проходили активнее (судя по отношению «контроль / опыт»), чем при температуре 21–22°С: при плотности червей 2 500 экз./м$^2$ – на 10%, при 5 000 экз./м$^2$ – на 4%, при 10 000 экз./м$^2$ – на 6%. Общеизвестно, что одними из основных факторов, влияющих на активность процессов деструкции нефти, являются температура среды и содержание кислорода. При увеличении температуры активность углеводородокисляющих бактерий (УОБ) возрастает. Как отмечают И.В. Перетрухина с соавт. [6], изменения углеводородокисляющей активности бактерий носят выраженный сезонный характер и связаны с изменениями температуры воды. Минимальные значения активности наблюдаются, когда температура воды близка к минимальной, а максимальные значения углеводородокисляющей активности имеют место в летний период времени при максимальных температурах воды.

Кислородный режим влияет на активность УОБ аналогично: при увеличении концентрации растворенного кислорода процессы деструкции проходят более активно. Известно, что для полного окисления 1 мг углеводородов необходимо как минимум 3–4 мг кислорода [7]. В поставленном нами эксперименте наиболее оптимальный кислородный режим для прохождения процессов деструкции нефти наблюдался при температуре 5°С. Так как аэрация экспериментальных емкостей не проводилась и были исключены процессы фотоокисления нефти и, соответственно, фотосинтетические процессы, то одним из единственных путей поступления кислорода в экспериментальные емкости следует считать инвазию кислорода из атмосферы. Используя табличные данные по зависимости равновесной концентрации кислорода в воде от температуры [8], приведем значения концентрации кислорода при температурах эксперимента: 5,0°С – 12,79 мг/л; 21,5°С – 8,75 мг/л. Очевидно, что содержание кислорода в экспериментальных емкостях было ниже, чем в контроле, ввиду его потребления биоценозом аквариума (микроорганизмы и черви). По нашим данным, полученным ранее, при температуре 21–22°С в аквариумных емкостях, где не проводилась аэрация, содержание кислорода в аквариумах без червей наблюдалось на уровне 4,4–4,8 мг/л, а в аквариумах с лимнодрилусами – 3,1–3,2 мг/л. При содержании растворенного кислорода в воде менее 5 мг/л (при температуре 23°С) черви реагируют более активными «дыхательными» движениями, увеличением части тела, участвующей в этих движениях, и снижением пищевой активности [9]. В условиях нашего эксперимента содержание кислорода в емкостях с температурой воды 21–22° было не более 3 мг/л, что затормаживало процессы микробной деструкции нефти и снижало пищевую активность лимнодрилусов.

Сравнительный анализ содержания нефти в исходных илах и в конце эксперимента показал, что максимальное снижение содержания нефти наблюдалось при максимальной концентрации нефти в илах в эксперименте (11,19 г/кг) при температуре 21–22°С: при численности лимнодрилусов 10 000 экз./м$^2$ – в 2,8 раза и при численности лимнодрилусов 5 000 экз./м$^2$ – в

2,6 раза. В условиях низких температур (5°С) эти показатели были немного ниже при той же концентрации нефти: при численности лимнодрилусов 10 000 экз./м$^2$ – в 2,4 раза, 5 000 экз./м$^2$ – в 2,3 раза. Объединив результаты, полученные в разных температурных условиях, в единые совокупности, используя критерий Вилкоксона, мы отметили 5%-ные достоверные отличия между содержаниями нефти в конце эксперимента в контрольных и опытных емкостях во всех концентрациях (рис. 2).

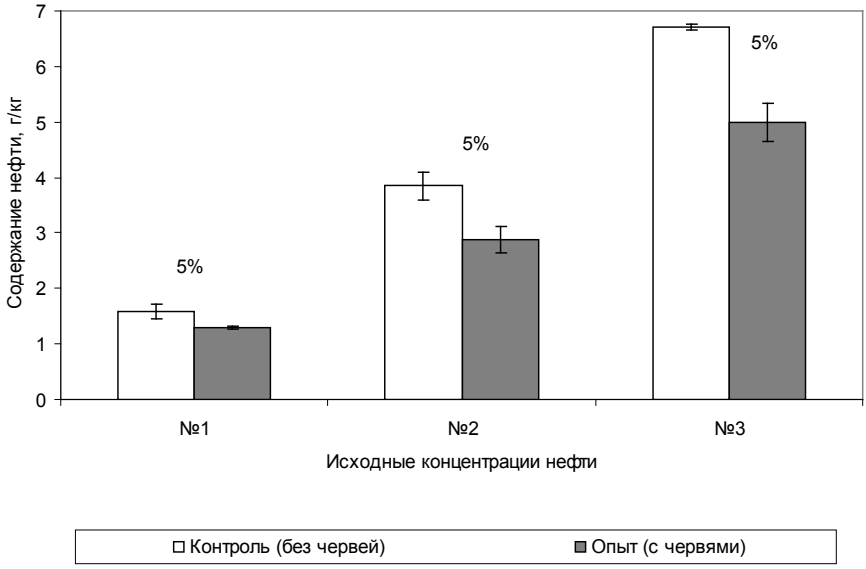



Рис 2. Содержание нефти в экспериментальных емкостях в конце эксперимента

## Выводы

1. Установлено влияние плотности популяции червей *Limnodrilus hoffmeisteri* на активность процессов деструкции нефти в донных отложениях: с увеличением их количества наблюдается тенденция снижения содержания нефти в донных отложениях.

2. Содержание нефти в илах контрольных аквариумов (без червей) снизилось по сравнению с исходным загрязненным илом при температуре 21–22°С в 1,73 раза; при температуре 5°С – в 1,37 раза, что связано с физико-химическими и микробиологическими аспектами самоочищения илов.

3. При низких температурах воды (5°С) и при температуре 21–22°С активность процессов очищения практически одинакова; по средним значениям, процессы очищения проходили активнее при низких температурах: при плотности червей 2 500 экз./м$^2$ – на 10%, 5 000 экз./м$^2$ – на 4%, 10 000 экз./м$^2$ – на 6%, что, вероятно, связано с более благоприятными кислородными условиями.

4. Максимальное снижение содержания нефти наблюдалось при максимальной концентрации нефти в илах в эксперименте (11,19 г/кг) при температуре 21–22°С, при численности лимнодрилусов 10 000 экз./м$^2$ – в 2,8 раза.

5. Относительно высокие темпы очистных процессов, проходящих в илах при низких температурах воды, расширяют перспективы использования технологии очистки донных отложений от нефти с использованием червей-тубифицид в зимний период. Для эффективной реализации очистных мероприятий в зимний период требуется поддержание растворенного в воде кислорода не менее 5–6 мг/л.

## *Литература*

1. *Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Кутукова К.Н.* Комплексное использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2009. № 1. С. 36–38.
2. *Мещеряков С.В., Смирнова Т.С.* Проблемы загрязнения природных вод предприятиями нефтегазового комплекса и пути их решения // Экология и промышленность России. 2008. № 8. С. 33–37.
3. *Способ* биологической очистки донных отложений от нефти и нефтепродуктов: пат. 2357929 Рос. Федерация: МПК C02F3/32, C12N1/26 / Воробьев Д.С., Залозный Н.А., Лушников С.В., Франк Ю.А. / заявитель и патентообладатель ООО «НТО «Приборсервис». № 2007124025/13; заявл. от 26.06.2007; опубл. 10.06.2009, 1 табл. (ил.).
4. *Иоганзен Б.Г., Залозный Н.А., Иголкин Н.И. и др.* Исследование биоценотопов таежной зоны // Проблемы экологии / под ред. Б.Г. Иоганзена. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1976. Т. 4. С. 3–25.
5. *Зайцев Г.Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1984. 424 с.
6. *Перетрухина И.В., Ильинский В.В., Литвинова М.Ю.* Определение скоростей биодеградации нефтяных углеводородов в воде литорали Кольского залива // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 5. С. 828–832.
7. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л. : Гидрометеоиздат, 1989. 528 с.
8. *Муравьев А.Г.* Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. СПб. : Крисмас+, 2004. 248 с.
9. *Воробьев Д.С., Залозный Н.А., Франк Ю.А. и др.* К вопросу о роли тубифицид в потреблении кислорода в донных отложениях, загрязненных нефтью // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11, № 1 (4). С. 702–706.

*Поступила в редакцию 21.10.2011 г.*

*Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 195–202*
doi: 10.17223/19988591/20/17

**Danil S. Vorobiev[1, 2], Yulia A. Frank[2, 3], Sergey V. Lushnikov[3]**

[1]*Tomsk Petroleum Institute, Tomsk, Russia*
[2]*Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*
[3]*Research and Technology Association «Priborservice» Ltd. Tomsk, Russia*

## INFLUENCE OF *Limnodrilus hoffmeisteri* WORMS POPULATION SIZE ON CLEANING OIL POLLUTED BOTTOM SEDIMENTS

*The problem of oil polluted territories and water areas decontamination is one of topical tasks for resolving. The problem is far from being completely solved in spite of a variety of technologies for oil polluted environments cleaning and restoring that exist today. The aim of the current study was to investigate Limnodrilus hoffmeisteri population size influence on oil destruction in contaminated sludge for optimizing the technology for bottom sediments cleaning using Tubificidae worms.*

*The data on oil contained in sediments of the experimental vessels which were obtained in this study indicate the tendency to acceleration of bottom sediments cleaning from oil with the increasing of worm's number. Decreasing of oil concentration in comparison to control conditions was observed in all experimental vessels. Decreasing of oil content in sediments of the control vessels (without worms) was detected both at high temperature (21–22°C) and low temperature (5°C).*

*Oil content in the control vessels decreased in 1.73 times at the temperature of 21–22°C; in 1.37 times at the temperature of 5°C. The decreasing of oil content in sediments is connected with physic and chemical and microbiological aspects of bottom sediments self decontamination. It is necessary to note that cleaning processes were, in average, more intensive at 5°C than at 21–22°C: for 10% at 2 500 cohorts/m$^2$, for 4% at 5 000 cohorts/m$^2$ and for 6% at 10 000 cohorts/m$^2$.*

*The analysis of initial and final oil content in the experiment revealed its maximum decreasing at the highest oil concentration (11.19 g/kg) and at the temperature of 21–22°C: reduction in 2.8 times at 10 000 cohorts/m$^2$ and in 2.6 times at 5 000 cohorts/m$^2$. The same characteristics were less at the same oil concentration at 5°C: reduction in 2.4 times at 10 000 cohorts/m$^2$ and 2.3 times at 5 000 cohorts/m$^2$. Reliable ($p<0.05$) reduction of oil content in sludge was observed with the increasing of worm's number (2 500 cohorts/m$^2$ – 5 000 cohorts/m$^2$ – 10 000 cohorts/m$^2$) during combining data from different temperatures experiments into common battery with Wilkokson criterion.*

*The possibility of a rather fast cleaning processes in oil contaminated sludge at a low temperature extends the perspectives of the technology application in winter time. For effective realization of cleaning in winter, dissolved oxygen maintenance at the level of 5–6 mg/l is required.*

**Key words:** *bottom sediments; sludge; oil pollution; Tubificidae; cleaning of water bodies.*

*Received October 21, 2012*

*Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 203–214*

УДК 582.29 (571.17)
doi: 10.17223/19988591/20/18

**Е.В. Романова**

*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск)*

# ЛИШАЙНИКИ – БИОИНДИКАТОРЫ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ г. КЕМЕРОВО

*Проведена оценка экологического состояния городской территории методами лихеноиндикации. Выявлены основные тенденции деградации лихенофлоры по мере усиления антропогенного воздействия: обеднение видового состава, снижение проективного покрытия лишайников и доли древесных растений, заселенных ими. Оценена доля сравнительно устойчивых и чувствительных к загрязнению эпифлеодных лишайников – 38,7 и 40,8% соответственно, при этом 30% чувствительных к атмосферному загрязнению видов на исследуемой территории были отмечены лишь единично. На основе полученных данных о встречаемости и обилии лишайников для городских районов был вычислен индекс полеотолерантности и составлена лихеноиндикационная карта-схема. Городская территория разделена на 5 зон, различающихся по степени загрязнения. Значительным и сильным загрязнением характеризуется бóльшая ее часть (66,3%, или около 200 км$^2$), в то время как зона слабого загрязнения занимает примерно 3 км$^2$. Полученные результаты свидетельствуют о том, что сильному негативному влиянию атмосферного загрязнения подвержено большинство естественных и искусственных растительных сообществ, находящихся в городской черте.*

**Ключевые слова:** *лишайники; лихеноиндикация; полеотолерантность; атмосферное загрязнение.*

## Введение

В результате хозяйственной деятельности человека, развития промышленности и роста городов на месте естественных сообществ возникают урбаноэкосистемы. В городских искусственных экосистемах ведущую роль играют древесные растения, как аборигенные, так и интродуцированные из других регионов и природных зон. Они подвергаются интенсивному воздействию самых разнообразных факторов, наиболее разрушительными из которых являются атмосферное загрязнение и рекреационная нагрузка [1]. Как и в естественных сообществах, наиболее чувствительными компонентами урбоэкосистем являются лишайники, которые одними из первых реагируют на повреждающие воздействия городской среды и служат индикаторами экологического состояния зеленых насаждений на городских территориях. Методы лихеноиндикации позволяют оценить, насколько факторы окружающей среды благоприятны для экосистемы в целом. В случае городских территорий методы лихеноиндикации дают наглядную картину, насколько

благоприятен тот или иной район городского населения, а также для зеленых насаждений, которые на урбанизированных территориях выполняют множество важных функций.

Несмотря на интенсивное развитие лихенологических исследований в городах европейской части России, большинство городов Западной Сибири ими до сих пор не охвачены. Что касается Кемеровской области, подобные исследования проводились только в южной ее части [2, 3]. На территории г. Кемерово за последние три года автором уже было изучено видовое разнообразие лишайников [4, 5]. Данная работа является продолжением лихенологических исследований на урбанизированных территориях юга Западной Сибири и представляет собой попытку выявления и анализа закономерностей распространения лишайников на территории г. Кемерово.

Кемерово является крупным промышленным и административным центром Кузбасса, его площадь составляет около 300 км$^2$, а население – 525,6 тыс. человек [6]. Основными загрязнителями городской атмосферы выступают предприятия химической, угледобывающей, угле- и нефтеперерабатывающей промышленности, расположенные в черте города и его ближайших окрестностях. Немалый вклад в атмосферное загрязнение вносит и автотранспорт.

До недавнего времени город был разделен на 5 административных районов, два из которых расположены на правом берегу р. Томь (Рудничный, Кировский) и 3 – на левом (Центральный, Ленинский, Заводский). Согласно современному административному делению, город состоит из 8 районов. Благодаря присоединению к городской территории близлежащих населенных пунктов, на левом берегу появился жилые районы (далее – ЖР) Ягуновский и Пионер, а на правом – ЖР Кедровка и Промышленновский, а также ЖР Лесная поляна. В р. Томь, разделяющую город на две части, в пределах административных границ впадают два притока – р. Искитим (левый) и р. Красная (правый). Правый берег Томи крутой и обрывистый, со скальными выходами, покрыт сосновым бором. В восточной части города в пойме Томи на левом берегу расположена крупная речная старица – оз. Красное, отделенное от реки тонким перешейком и сообщающееся с ней только во время половодья. Климат исследуемого района формируется в условиях, характерных для равнинных территорий юга Западной Сибири.

Озеленение г. Кемерово можно оценить как довольно равномерное: на его территории и в окрестностях сохранились естественные растительные сообщества, имеются несколько крупных парков и скверов, улицы и жилые кварталы обильно покрыты деревьями и кустарниками. Благодаря этому в ходе исследования удалось составить подробную лихеноиндикационную схему, не содержащую так называемых «белых пятен» – районов, где из-за отсутствия древесной растительности произвести экологическую оценку с помощью эпифлеодных лишайников не представлялось бы возможным.

## Материалы и методики исследования

Материалом для исследования послужили лихенологические сборы, проведенные на территории г. Кемерово и в его окрестностях во время полевых сезонов 2008–2009 гг. Лишайники были собраны в естественных сообществах и искусственных насаждениях во всех городских районах, а также на некоторых пригородных территориях.

Для наиболее полного учета лишайников городская территория была разделена на квадраты со стороной 1 км. В каждом квадрате обследованы все вероятные местонахождения лишайников: кора древесных растений, гниющая и обработанная древесина, почва, опад, каменистый субстрат, шифер, бетонные сооружения и т.д., однако с целью биоиндикации использовались только эпифлеодные и гипофлеодные лишайники (слоевище которых развивается на поверхности или в толще коры древесных растений), их в лихенофлоре г. Кемерово насчитывается 137 видов из 175 (78,3% лихенофлоры). Обработка собранного материала осуществлялась в лаборатории низших растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск) в 2008–2010 гг. с использованием общепринятых в лихенологии методов. За период исследования было собрано и обработано около 900 образцов.

Учет встречаемости и обилия (проективного покрытия) эпифлеодных лишайников проводили на пробных площадках размером 20х20 см$^2$, которые закладывали на двух уровнях: нижняя часть ствола (от комля до 60 см) и на стволе (от 60 см до нижних ветвей кроны) с той стороны ствола, где лишайниковый покров развит максимально. В некоторых случаях удавалось произвести учет лишайников в основании ствола (прикомлевой части) и на ветвях кроны. Встречаемость каждого вида оценивалась как процент площадок, на которых данный вид был найден, от общего числа площадок, заложенных в данном сообществе. Кроме того, в каждом растительном сообществе на территории города была выявлена доля деревьев, на которых не удалось найти слоевищ лишайников. Проективное покрытие оценивалось как для каждого вида в отдельности, так и совокупное, для всех видов, отмеченных на площадке. Выявленные в ходе исследования эпифлеодные лишайники сгруппированы в 10 классов (степеней) полеотолерантности [7]: от видов, растущих в естественных ландшафтах и не переносящих даже самых незначительных концентраций загрязнителей (I класс), до видов, способных к существованию в сильно загрязненных условиях (X класс). Поскольку этот показатель во многом зависит от климатических условий, перенос данных о степени полеотолерантности видов из других регионов недопустим.

Таким образом, с применением рекомендаций Х.Х. Трасса [7], была установлена местная принадлежность каждого из эпифлеодных лишайников к тому или иному классу полеотолерантности. На основе полученных данных для каждой пробной площадки был вычислен индекс полеотолерантности

(IP), предложенный Трассом [8]. Значения IP с отдельных площадок усреднялись в пределах квадрата, после чего наносились на лихеноиндикационную карту-схему г. Кемерово.

## Результаты исследования и обсуждение

Основные закономерности распространения лишайников на территории г. Кемерово представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Видовое разнообразие, обилие и средняя встречаемость лишайников в различных растительных сообществах г. Кемерово**

| Растительные сообщества | Число видов | Среднее проективное покрытие лихеносинузий, % | Доля деревьев, не заселенных лишайниками, % |
|---|---|---|---|
| Сосновый бор (пригород) | 74 | 14,0 | 12 |
| Сосновый бор (город) | 73 | 11,8 | 36 |
| Березовые сообщества (пригород) | 87 | 16,1 | 19 |
| Березовые сообщества (город) | 41 | 15,4 | 56 |
| Ивово-тополевые пойменные сообщества | 83 | 14,9 | 40 |
| Парки и скверы | 64 | 3,0 | 70 |
| Внутриквартальные насаждения | 55 | 2,6 | 72 |
| Искусственные насаждения вдоль автомагистралей | 26 | 2,3 | 94 |

По мере увеличения антропогенной нагрузки происходит сокращение видового разнообразия лишайников, а также проективного покрытия отдельных видов и лихеносинузий в целом. Анализ доли деревьев, на которых отмечены слоевища лишайников, показал, что в искусственных насаждениях встречаемость лишайников уменьшается более резко, по сравнению с числом видов. Например, парки и скверы характеризуются довольно высоким видовым разнообразием лишайников – в них было найдено 64 вида, однако среднее проективное покрытие лихеносинузий существенно ниже, по сравнению с естественными растительными сообществами на городской территории. При этом в городских парках доля деревьев, не заселенных лишайниками, составляет 70%, в отличие от естественных сообществ пригородной зоны, где этот показатель не превышает 19%.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что проективное покрытие лишайниковых группировок и доля заселенных деревьев являются более информативными, по сравнению с видовым разнообразием. Эти показатели дают более наглядное представление о том, насколько благоприятно для лишайников то или иное местообитание. Так, в парках, скверах, внутриквартальных насаждениях и других искусственных сообществах лишайники встречались лишь небольшими слоевищами на 1–3 деревьях из 10 (несмотря на сравнительно большое число видов в этих местообитаниях), в то время как на отдельных участках соснового бора ими были заселены практически все

деревья. Сходные тенденции к уменьшению встречаемости и обилия этих организмов, в первую очередь типичных «лесных» видов, чувствительных к атмосферному загрязнению, были выявлены и для г. Новосибирска – крупного промышленного центра, расположенного в той же природной зоне и характеризующегося сходными климатическими условиями [9], а также отмечены исследователями городских лихенофлор европейской части России [10–12].

Распределение эпифлеодных лишайников г. Кемерово по классам полеотолерантности представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Классы полеотолерантности эпифлеодных лишайников**

| Класс полеотолерантности | Виды | Число видов | |
|---|---|---|---|
| | | Абсолютное | % от общего числа эпифлеодных лишайников |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | *Arthonia apatetica* (A. Massal.) Th. Fr., *Bacidia igniarii* (Nyl.) Oksner, *Biatora helvola* Körb. ex Hellb., *Biatora hyphophaea* Printzen & Tønsberg, *Biatora ocelliformis* (Nyl.) Arnold, *Biatora vernalis* (L.) Fr., *Buellia erubescens* Arnold, *Caloplaca cerinella* (Nyl.) Flagey, *Candelariella vitellina* (Hoffm.) Müll. Arg., *Catinaria atropurpurea* (Schaer.) Vězda & Poelt, *Chaenotheca phaeocephala* (Turner) Th. Fr., *Cladonia squamosa* Hoffm., *Cliostomum griffithii* (Sm.) Coppins, *Cyphelium tigillare* (Ach.) Ach., *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Hypocenomyce friesii* (Ach.) P. James, *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav., *Lecanora albellula* Nyl., *Lecanora expallens* Ach., *Lecidella elaeochroma* (Ach.) M. Choisy, *Lepraria incana* (L.) Ach., *Leptorhaphis atomaria* (Ach.) Szatala, *Mycobilimbia hypnorum* (Lib.) Kalb & Hafellner, *Mycoglaena subcoerulescens* (Nyl.) Höhn., *Mycomicrothelia melanospora* (Hepp) D. Hawksw., *Mycomicrothelia wallrothii* (Hepp) D. Hawksw., *Opegrapha niveoatra* (Borrer) J. R. Laundon, *Parmeliopsis hyperopta* (Ach.) Arnold, *Physcia leptalea* (Ach.) DC., *Physciella denigrata* (Hue) Essl., *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Ramalina farinacea* (L.) Ach, *Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach., *Ramalina sinensis* Jatta, *Rinodina colobina* (Ach.) Th. Fr., *Rinodina laevigata* (Ach.) Malme, *Thelocarpon epibolum* Nyl., *Xanthoria ulophyllodes* Räsänen | 38 | 27,7 |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 2 | *Arthonia radiata* (Pers.) Ach., *Caloplaca vitellinula* (Nyl.) H. Olivier, *Candelaria concolor* (Dicks.) Stein, *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Opegrapha varia* Pers., *Phaeophyscia primaria* (Poelt) Trass, *Platismatia glauca* (L.) Culb. & C. Culb., *Usnea hirta* (L.) F. H. Wigg. | 8 | 5,8 |
| 3 | *Arthopyrenia grisea* (Schleich. ex Schaer.) Körb., *Chaenotheca ferruginea* (Turner ex Sm.) Mig., *Chaenotheca stemonea* (Ach.) Müll. Arg., *Cladonia chlorophaea* (Flörke ex Sommerf.) Spreng., *Cladonia fimbriata* (L.) Fr., *Evernia esorediosa* (Müll. Arg.) Du Rietz, *Melanelia exasperata* (De Not.) Essl., *Melanelia exasperatula* (Nyl.) Essl., *Mycobilimbia pilularis* (Körb.) Hafellner et Türk, *Pycnothelia papillaria* Dufour | 10 | 7,3 |
| 4 | *Caloplaca chlorina* (Flot.) H. Olivier, *Chaenotheca chrysocephala* (Ach.) Th. Fr., *Cladonia caespiticia* (Pers.) Flörke, *Cladonia decorticata* (Flörke) Spreng., *Cladonia ochrochlora* Flörke, *Cyphelium inquinans* (Sm.) Trevis., *Evernia mesomorpha* Nyl., *Flavopunctelia soredica* (Nyl.) Hale, *Hypocenomyce scalaris* (Ach.) M. Choisy, *Lecanora symmicta* (Ach.) Ach., *Lecidella euphorea* (Flörke) Hertel, *Opegrapha rufescens* Pers., *Physcia tribacia* (Ach.) Nyl., *Vulpicida pinastri* (Scop.) J.-E. Mattsson et M. J. Lai | 14 | 10,2 |
| 5 | *Anisomeridium biforme* (Borrer) R.C. Harris, *Caloplaca suspiciosa* (Nyl.) H. Magn., *Eopyrenula leucoplaca* (Wallr.) R.C. Harris, *Melanelia olivacea* (L.) Essl., *Melanelia septentrionalis* (Lynge) Essl., *Parmelia sulcata* Taylor, *Pyrenula laevigata* (Pers.) Arnold, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. | 8 | 5,8 |
| 6 | *Amandinea punctata* (Hoffm.) Coppins & Scheid., *Arthopyrenia analepta* (Ach.) A. Massal., *Arthopyrenia persoonii* A. Massal., *Chrysothrix chlorina* (Ach.) J. R. Laundon, *Phaeophyscia ciliata* (Hoffm.) Moberg, *Phaeophyscia endococcina* (Körb.) Moberg | 6 | 4,4 |
| 7 | *Bacidia laurocerasi* (Delise ex Duby) Zahlbr., *Buellia schaereri* De Not., *Caloplaca citrina* (Hoffm.) Th. Fr., *Caloplaca flavorubescens* (Huds) J. R. Laundon, *Caloplaca haematites* (St.-Amans) Zwackh, *Candelariella xanthostigma* (Ach.) Lettau, | 13 | 9,5 |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | *Lecania nylanderiana* A. Massal., *Lecanora orae-frigidae* R. Sant., *Lecanora pulicaris* (Pers.) Ach., *Pseudosagedia aenea* (Wallr.) Hafellner et Kalb, *Rinodina exigua* (Ach.) Gray, *Rinodina septentrionalis* Malme, *Scoliciosporum umbrinum* (Ach.) Arnold | | |
| 8 | *Caloplaca cerina* (Ehrh. ex Hedw.) Th. Fr., *Caloplaca ferruginea* (Huds.) Th. Fr., *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr., *Candelariella lutella* (Vain.) Räsänen, *Chrysothrix candelaris* (L.) J. R. Laundon, *Cladonia ramulosa* (With.) J. R. Laundon, *Cresporhaphis wienkampii* (J. Lahm ex Hazsl.) M.B. Aguirre, *Hyperphyscia adglutinata* (Flörke) H. Mayrh. et Poelt, *Lecania cyrtella* (Ach.) Th. Fr., *Lecania cyrtellina* (Nyl.) Sandst., *Lecania dubitans* (Nyl.) A. L. Sm., *Lecania koerberiana* J. Lahm, *Lecanora chlarotera* Nyl., *Lecanora varia* (Hoffm.) Ach., *Leptorhaphis epidermidis* (Ach.) Th. Fr., *Melanelia subargentifera* (Nyl.) Essl., *Phaeophyscia hirsuta* (Mereschk.) Essl., *Phaeophyscia hispidula* (Ach.) Essl., *Phaeophyscia kairamoi* (Vain.) Moberg, *Phaeophyscia nigricans* (Flörke) Moberg, *Physcia adscendens* (Fr.) H. Olivier, *Physcia aipolia* (Ehrh. ex Humb.) Fürnr., *Physcia tenella* (Scop.) DC., *Physconia distorta* (With.) J. R. Laundon, *Rinodina pyrina* (Ach.) Arnold | 25 | 18,2 |
| 9 | *Caloplaca holocarpa* (Hoffm. ex Ach.) A. E. Wade, *Lecanora hageni* (Ach.) Ach., *Lecanora populicola* (DC.) Duby, *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg, *Physcia dubia* (Hoffm.) Lettau, *Physcia magnussonii* Frey, *Physcia stellaris* (L.) Nyl., *Physconia detersa* (Nyl.) Poelt, *Physconia grisea* (Lam.) Poelt, *Rinodina sophodes* (Ach.) A. Massal., *Scoliciosporum chlorococcum* (Stenh.) Vězda, *Xanthoria candelaria* (L.) Th. Fr. | 12 | 8,8 |
| 10 | *Arthopyrenia punctiformis* (Stizenb.) R.C. Harris, *Leptorhaphis lucida* Körb., *Thelenella modesta* (Nyl.) Nyl. | 3 | 2,2 |

Видов, наиболее чувствительных к атмосферному загрязнению и относящихся к первым трем классам полеотолерантности, насчитывается 56 (40,8% от общего числа эпифлеодных лишайников). Они встречаются в естественных и слабонарушенных пригородных сообществах и не отмечены

в умеренно, а тем более в сильнонарушенных. Среди чувствительных лишайников единичной встречаемостью характеризуется 30% (17 видов). Доля относительно устойчивых к антропогенному воздействию видов, отнесенных к 7–10-му классам полеотолерантности, составляет 38,7% от общего числа эпифлеодных лишайников (53 вида), из них 12 (8,8% от общего числа) отмечены во всех районах города, в том числе в экстремальных условиях произрастания. Подобное распределение лишайников по классам полеотолерантности отличается от такового, выявленного для лишайников г. Новосибирска [9]. В частности, лихенофлора г. Новосибирска отличается большей долей чувствительных к атмосферному загрязнению видов (63%) и меньшей долей относительно устойчивых (10,3%). Эти различия связаны, по-видимому, не только с площадью сохранившихся лесных массивов на территориях обоих промышленных центров, но и с особенностями застройки городских территорий. В отличие от Новосибирска, воздействию загрязнителей от стационарных источников подвергаются практически все районы г. Кемерово, включая сохранившиеся лесные массивы, которые являются «убежищами» для лишайников, чувствительных к атмосферному загрязнению.

На основании данных о встречаемости и обилии лишайников для различных районов г. Кемерово был вычислен индекс полеотолерантности и составлена лихеноиндикационная карта-схема (рис. 1).

В пределах городской территории выявлено 5 зон, различающихся по степени загрязнения.

1. Зона слабого загрязнения (IP = 3–5) характеризуется наиболее высоким видовым разнообразием лишайников, при этом доминантами в их группировках выступают чувствительные к загрязнению виды. Площадь зоны слабого загрязнения составляет около 3 км$^2$ (1% городской территории). Участки со слабым загрязнением выявлены преимущественно на правом берегу р. Томь в окрестностях дер. Красная на расстоянии порядка 10 км от промышленных комплексов Центрального, Заводского и Кировского районов и представляют собой территорию, на которой произрастают березово-сосновые и березовые леса. Низкие значения индекса полеотолерантности были получены также для отдельных небольших участков ивовых и тополевых зарослей в пойме р. Томь в Ленинском районе и для соснового бора в окрестностях дер. Журавлево. Эти районы в малой степени подвергаются загрязнению от автотранспорта, при этом сомкнутые кроны деревьев и повышенная влажность местообитаний в некоторой степени нивелируют воздействие на лишайники загрязнителей, поступающих от промышленных комплексов. Несмотря на то что преобладающие в течение года юго-западные ветра относят загрязнение от промышленных комплексов вверх по течению Томи в сторону данных территорий, именно здесь с единичной встречаемостью найдены три вида из рода *Ramalina*, которые являются типичными «лесными» видами и весьма чувствительны к загрязнению. Все найденные слоевища представителей рода отличались мелкими размерами и не превышали в длину 1,5 см.

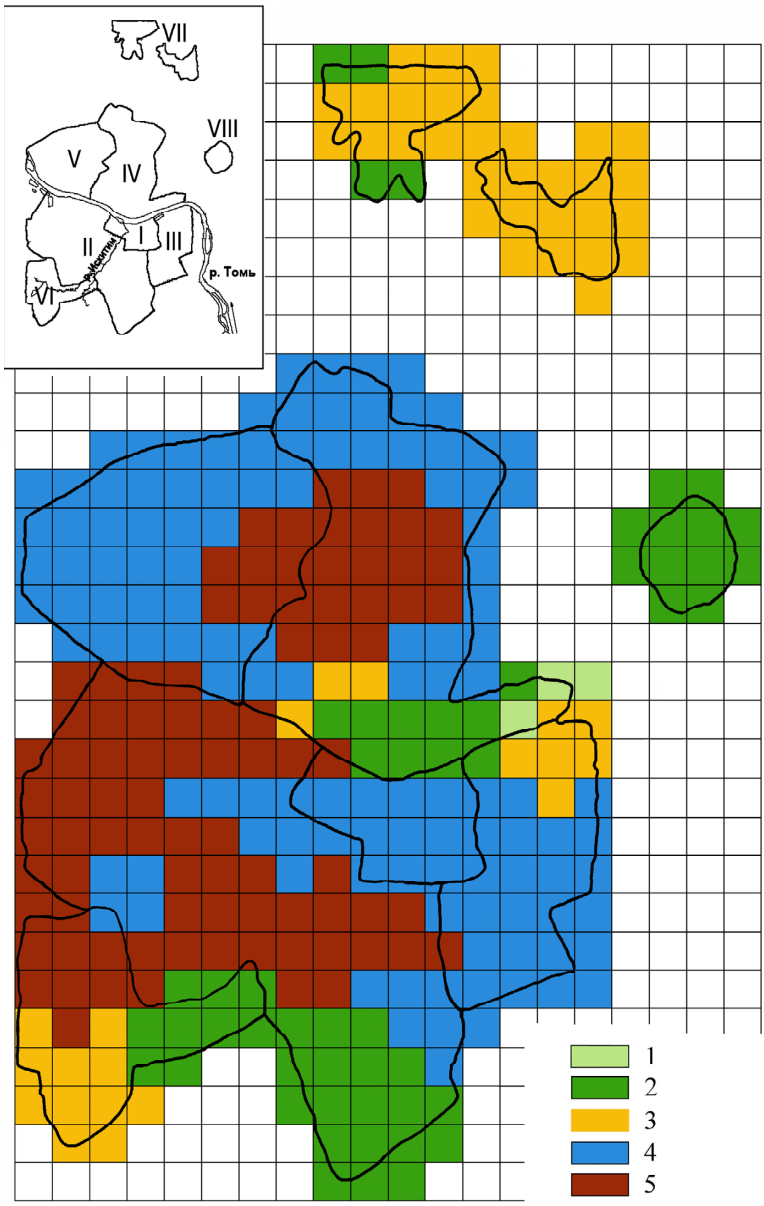



Рис. 1. Схема деления территории г. Кемерово по величине индекса полеотолерантности: *1* – зона слабого загрязнения; *2* – зона умеренного загрязнения; *3* – зона среднего загрязнения; *4* – зона значительного загрязнения; *5* – зона сильного загрязнения. I – Центральный район; II – Заводский район; III – Ленинский район; IV – Рудничный район; V – Кировский район; VI – ЖР Ягуновский и Пионер; VII – ЖР Кедровка и Промышленновский; VIII – ЖР Лесная поляна

2. Зона умеренного загрязнения (IP = 5–7). Здесь довольно часто встречаются чувствительные виды лишайников, но в целом видовое разнообразие существенно ниже такового в неповрежденных сообществах. В г. Кемерово участки с умеренным атмосферным загрязнением занимают порядка 60 км$^2$ – около 20% городской территории. Зона умеренного загрязнения располагается в Рудничном районе, где ее границы совпадают с границами сохранившегося на городской территории соснового бора, а также в южной части Заводского района и в окрестностях пос. Комиссарово (ЖР Ягуновский и Пионер), где ее границы совпадают с березовыми лесами и колками на окраинах города. Кроме того, к зоне умеренного загрязнения относятся ЖР Лесная поляна и окраины пос. Кедровка (ЖР Кедровка и Промышленновский).

3. В зоне среднего загрязнения (IP = 7–9) преобладают устойчивые к атмосферному загрязнению виды, в то время как чувствительные не найдены вовсе или отмечены очень редко, небольшими участками слоевищ. Площадь этой зоны составляет 38 км$^2$ (12,7% городской территории), она практически полностью занимает ЖР Кедровка и Промышленновский, охватывает приблизительно треть ЖР Ягуновский и Пионер, а также представлена небольшими участками в Рудничном и Ленинском районах.

4. Зона значительного загрязнения (IP = 9–10). Лишайники отмечены редко, находятся в угнетенном состоянии. Площадь этой зоны в г. Кемерово составляет около 120 км$^2$ (40% площади города). Она занимает весь Центральный район, бóльшую часть территории Кировского (включая березовую рощу, набережную и внутриквартальные насаждения) и Ленинского, приблизительно одну треть территории Рудничного и одну пятую Заводского районов.

5. Зона сильного загрязнения (так называемая «лишайниковая пустыня»). Представляет собой участки, на которых полностью отсутствует лишайниковая растительность, занимает 79 км$^2$ (26,3% обследованной территории). В г. Кемерово лишайники не были обнаружены вдоль оживленных автомагистралей и вблизи промышленных комплексов, а также во внутриквартальных насаждениях большинства городских районов. В Кировском районе зона сильного загрязнения занимает приблизительно одну восьмую территории, в Рудничном – одну четвертую, в Заводском – около половины, в ЖР Ягуновский и Пионер – приблизительно одну треть площади района.

Таким образом, значительным и сильным загрязнением характеризуется бóльшая часть территории г. Кемерово – 66,3% (чуть менее 200 км$^2$), куда входят большинство жилых кварталов, парки и скверы, насаждения вдоль дорог, участки, занятые малоэтажными домами (частный сектор), территории промышленных предприятий и их окрестности. По лихеноиндикационным данным наиболее загрязненным является Заводский район, а наименее – ЖР Лесная поляна.

По сравнению с г. Новосибирском, где ранее были проведены аналогичные исследования [9], в г. Кемерово зона слабого загрязнения занимает гораздо меньшую площадь: в Новосибирске она охватывает 8,5% городской

территории, в то время как в Кемерово – всего 1%. Участки, на которых отсутствует лишайниковая растительность, в г. Кемерово также составляют менее протяженную зону: «лишайниковая пустыня» занимает 35% территории Новосибирска и 26,3% территории Кемерово. Зона значительного загрязнения занимает существенно бóльшую площадь по сравнению с Новосибирском (40 и 16,5%) соответственно, при этом доля зон умеренного и среднего загрязнения в обоих промышленных центрах сопоставима.

## Заключение

В результате исследования были выявлены основные закономерности распространения лишайников на территории г. Кемерово и проведена ее экологическая оценка. Сравнительно большой площадью характеризуются зоны значительного и сильного загрязнения, которые охватывают не только окрестности промышленных комплексов и автомагистрали, но также парки, скверы и жилые кварталы. Кроме того, в лихенофлоре г. Кемерово значительна доля видов, сравнительно устойчивых к атмосферному загрязнению. При этом 30% чувствительных к атмосферному загрязнению лишайников на исследуемой территории были отмечены лишь единично. Полученные результаты свидетельствуют о сильном негативном влиянии атмосферного загрязнения на большинство естественных и искусственных растительных сообществ, находящихся в городской черте. При увеличении антропогенной нагрузки наблюдается тенденция к снижению видового разнообразия и обилия лишайников, а также доли деревьев и кустарников, заселенных этими организмами.

## *Литература*

1. *Матерна Я.* Воздействие атмосферного загрязнения на природные экосистемы // Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л. : Гидрометеоиздат, 1988. С. 436–459.
2. *Баумгертнер М.В.* Лишайники – биоиндикаторы загрязнения окружающей среды юга Кемеровской области // Сибирский экологический журнал. 1998. № 2. С. 191–196.
3. *Баумгертнер М.В.* Современное состояние лишайников Липового острова // Сибирский экологический журнал. 2001. № 4. С. 483–491.
4. *Романова Е.В.* Предварительные данные по лишайникам в естественных растительных сообществах г. Кемерово // Растительный мир азиатской России. Вестник ЦСБС СО РАН. Новосибирск, 2009. № 1 (3). С. 6–12.
5. *Романова Е.В.* Лишайники города Кемерово (Западная Сибирь) // Растительный мир Азиатской России. Вестник ЦСБС СО РАН. Новосибирск, 2011. № 1. С. 9–16.
6. *Города* России: энциклопедия / ред. Г.М. Лаппо. М. : Большая Российская энциклопедия, 1994. 559 с.
7. *Трасс Х.Х.* Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. Т. 7. С. 122–137.
8. *Трасс Х.Х.* Анализ лихенофлоры Эстонии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тарту, 1968. 80 с.
9. *Романова Е.В., Седельникова Н.В.* Лишайники – биоиндикаторы атмосферного загрязнения Новосибирской городской агломерации. Новосибирск : Гео, 2010. 98 с.

10. *Бязров Л.Г.* Лишайники в экологическом мониторинге. М. : Научный мир, 2002. 336 с.
11. *Малышева Н.В.* Лишайники Санкт-Петербурга // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Сер. 3. Т. 79. СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 2003. 97 с.
12. *Мучник С.Э.* Тенденции антропогенной трансформации лихенофлор // Ботанические исследования в азиатской России : материалы XI съезда Рус. ботан. об-ва. Новосибирск ; Барнаул, 2003. Т. 1. С. 179–181.

*Поступила в редакцию 10.08.2012 г.*

***Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 4 (20). P. 203–214***

doi: 10.17223/19988591/20/18

**Ekaterina V. Romanova**

*Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

## LICHENS AS BIOINDICATORS OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN KEMEROVO

*Methods of the lichenoindication show to what extent environmental factors are favorable for urban ecosystems and for people living in the area. Such researches have not yet been carried out in Kemerovo. Material for the study is specimens of lichens collected in native ecosistems and urban planting in summer 2008–2009. For the purpose of bioindication there were used only lichens on bark, whose number is 137 species of 175 (78.3% lichen flora of Kemerovo). The territory of the city was subdivided into squares with a side of 1 km. In each square there was measured the occurrence and the projective covering of lichens and the rate of trees, free of lichens. Lichens on the bark are grouped into 10 poleotolerance classes. Basing on the data for each square, the poleotolerance index (IP) was calculated. IP numbers were applied to lichenoindication schematic map of Kemerovo.*

*With an increasing anthropogenic pressure species diversity, projective cover of lichens and it's synusia are declining. The analysis of the rate of trees, free of lichens in different communities, shows that the urban planting lichen occurrence decreases even more with the increasing of anthropogenic pressure and species diversity and projective cover of lichens are declining.*

*Among lichens on wood plants bark in Kemerovo there are 56 species (40.8% of total), the most sensitive to air pollution and related to the first three poleotolerance classes. Of these, 30% (17 species) were noted sporadically. The rate of the lichens which are relatively resistant to human disturbance, included in the 7–10 poleotolerance classes is 38.7% of total lichens on the bark (53 species), of which 12 species (8.8% of total lichens on the bark) were found in all city districts, even in extreme growth conditions.*

*On the basis of the data on the lichen occurrence and abundance in different districts of the city there was calculated the poleotolerance index and lichenoindication schematic map of Kemerovo was drawn. Within the urban area there were identified 5 zones differing in the degree of pollution. A significant and strong pollution characterized most of the territory of Kemerovo – 66.3% (about 200 km$^2$), including most residential areas, parks, public gardens along roads and areas occupied by low-rise buildings), the territories of industrial enterprises and their surroundings. According to lichenoindication data, the most polluted are the Zavodsky district and the least polluted is the residential area Lesnaya Polyana.*

**Key words:** *lichens; lichenoindikation; poleotolerance; atmospheric pollution.*

*Received August 10, 2012*

# СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

***Азизов Афлатун Полад оглы*** **–** кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института Зоологии НАН Азербайджана (г. Баку, Азербайджан).

E-mail: ***aflatunazizov@gmail.com***

***Беляева Татьяна Николаевна*** – кандидат биологических наук, зав. лабораторией интродукции цветочно-декоративных растений Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск).

E-mail: ***tbel10@sibmail.com***

***Бобровский Максим Викторович*** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биологических и физико-химических проблем почвоведения РАН (г. Пущино).

E-mail: ***maxim.bobrovsky@gmail.com***

***Брацихина Мария Александровна*** – аспирант кафедры прикладной биотехнологии Северо-Кавказского федерального университета (г. Ставрополь).

E-mail: ***maria.bratsikhina@yandex.ru***

***Брыксина Наталья Анатольевна*** – старший научный сотрудник Балтийского федерального университета им. И. Канта (г. Калининград).

E-mail: ***bryksina83@gmail.com***

***Бутенкова Алина Николаевна*** – аспирант кафедры ботаники Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).

E-mail: ***DaS2Y5@yandex.ru***

***Воробьев Данил Сергеевич*** – кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии Биологического института Томского государственного университета; начальник отдела комплексных экологических проектов ОАО «ТомскНИПИнефть» (г. Томск).

E-mail: ***danilvorobiev@yandex.ru***

***Гайворонских Оксана Александровна*** – магистрант Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).

E-mail: ***tbel10@sibmail.com***

***Горбунова Ирина Александровна*** **–** кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории низших растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск).

E-mail: ***fungi2304@gmail.com***

***Дебков Никита Михайлович*** – аспирант, ассистент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).

E–mail: ***debkovnikita@mail.ru***

***Дьяченко Александр Петрович*** – доктор биологических наук, зав. кафедрой ботаники и методики обучения биологии географо-биологического факультета Уральского государственного педагогического университета (г. Екатеринбург).
E-mail: ***eadyach@e66.ru***

***Зибзеев Евгений Григорьевич*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии и геоботаники Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск).
E-mail: ***egzibzeev@rambler.ru***

***Истигечев Георгий Игоревич*** – студент кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***istigechev.g@yandex.ru***

***Кирпотин Сергей Николаевич*** – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники Биологического института, проректор по международным связям Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***kirp@ums.tsu.ru***

***Крицков Иван Викторович*** – студент кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***s.loyko@yandex.ru***

***Конарбаева Галина Акмуллдиновна*** – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск).
E-mail: ***konarbaeva@issa.nsc.ru***

***Кораблев Владимир Павлович*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник лаборатории эволюционной зоологии и генетики Биолого-почвенного института ДВО РАН (г. Владивосток).
E-mail: ***korablev@ibss.dvo.ru***

***Куприянов Андрей Николаевич*** – доктор биологических наук, профессор, зав. отделом Кузбасского ботанического сада Института экологии человека СО РАН (г. Кемерово).
E-mail: ***kupr-42@yandex.ru***

***Лойко Сергей Васильевич*** – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***s.loyko@yandex.ru***

***Лушников Сергей Валерьевич*** – генеральный директор ООО Научно-технического объединения «Приборсервис» (г. Томск).
E-mail: ***mail@priborservice.tomsk.ru***

***Надиров Саламат Нурага оглы*** – кандидат биологических наук, зав. лабораторией прогнозирования запасов рыб Азербайджанского НИИ рыбного хозяйства Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджана (г. Баку, Азербайджан).
E-mail: ***suleyman.s@mail.ru***

***Некрасова Ольга Анатольевна –*** кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии биологического факультета Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург).
E-mail: ***o_nekr@mail.ru***

***Паньков Александр Николаевич*** – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии биологического факультета Сургутского государственного университета (ХМАО – Югра, г. Сургут).
E-mail: ***skylightmoon@yandex.ru***

***Романова Екатерина Владимировна*** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории низших растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск).
E-mail: ***korr@ngs.ru***

***Русак Светлана Николаевна*** – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии биологического факультета Сургутского государственного университета (ХМАО – Югра, г. Сургут).
E-mail: ***skylightmoon@yandex.ru***

***Русак Юрий Эдуардович*** – доктор медицинских наук, профессор кафедры акушерства и гинекологии Медицинского института Сургутского государственного университета (ХМАО – Югра, г. Сургут).
E-mail: ***skylightmoon@yandex.ru***

***Рябцева Светлана Андреевна*** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной биотехнологии Северо-Кавказского федерального университета (г. Ставрополь).
E-mail: ***maria.bratsikhina@yandex.ru***

***Синха Раджив К.*** – старший преподаватель Гриффитского университета (г. Брисбен, Австралия).
E-mail: ***rajiv.sinha@griffith.edu.au***

***Скороходов Сергей Николаевич*** – научный сотрудник лаборатории устойчивости и динамики экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).
E-mail: ***timoshokee@mail.ru***

***Степанюк Галина Яковлевна*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией семеноведения и биотехнологии Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***sbg_biotech@sibmail.com***

***Сулейманов Сулейман Шакир оглы*** – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории ихтиологии Института зоологии НАН Азербайджана (г. Баку, Азербайджан).
*E-mail:* ***suleyman.s@mail.ru***

***Султангазина Гульнара Жалеловна*** – кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой биологии и химии Костанайского государственного университета (г. Костанай, Республика Казахстан).
E-mail: ***kupr-42@yandex.ru***

***Таран Георгий Семенович*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Западно-Сибирского филиала Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (г. Новосибирск).
E-mail: ***gtaran@mail.ru***

***Тимошок Евгений Николаевич*** – младший научный сотрудник лаборатории устойчивости и динамики экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).
E-mail: ***ten80@mail.ru***

***Тимошок Елена Евгеньевна*** – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией устойчивости и динамики экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).
E-mail: ***timoshokee@mail.ru***

***Учаев Антон Павлович*** – аспирант кафедры экологии биологического факультета Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург).
E-mail: ***antonio21@inbox.ru***

***Франк Юлия Александровна*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры физиологии растений и биотехнологии Биологического института Томского государственного университета; зам. генерального директора по научной работе Научно-технического объединения «Приборсервис» (г. Томск).
E-mail: ***sci@priborservice.tomsk.ru***

***Хоцкова Любовь Витальевна*** – младший научный сотрудник Сибирского ботанического сада Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***sbg_biotech@sibmail.com***

***Хрусталева Ирина Артуровна*** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории интродукции растений Института экологии человека СО РАН (г. Кемерово).
E-mail: ***atriplex@rambler.ru***

***Хрущева Наталья Анатольевна*** – аспирант кафедры акушерства и гинекологии Медицинского института Сургутского государственного университета (ХМАО – Югра, г. Сургут).
E-mail: ***skylightmoon@yandex.ru***

***Цвирка Марина Владимировна*** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюционной зоологии и генетики Биолого-почвенного института ДВО РАН (г. Владивосток).
E-mail: ***tsvirkamv@yandex.ru***

***Чикин Юрий Александрович*** – кандидат биологических наук, доцент кафедры защиты растений Биологического института Томского государственного университета (г. Томск).
E-mail: ***yuch@sibmail.com***

***Якименко Владимир Николаевич –*** доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск).
E-mail: ***yakimenko@issa.nsc.ru***

Научный журнал **«Вестник Томского государственного университета. Биология»** был выделен в самостоятельное периодическое издание из общенаучного журнала «Вестник Томского государственного университета» в 2007 г.

Научный журнал «Вестник Томского государственного университета. Биология» публикует результаты завершенных оригинальных исследований (*теоретические и экспериментальные статьи*) в различных областях современной биологии, ранее нигде не публиковавшиеся и не представленные к публикации в другом издании. Кроме того, публикуются описания принципиально новых методов исследования, обзорные статьи по отдельным проблемам, рецензии и хроника.

Все статьи, поступающие в редакцию журнала, подлежат обязательному рецензированию. В настоящее время публикации в журнале осуществляются на некоммерческой основе. Полнотекстовые версии вышедших номеров размещены на сайте журнала: ***http://vestnik.tsu.ru/biology***.

Основные требования к представляемым статьям: новизна и обоснованность фактического материала, ясность, сжатость изложения, воспроизводимость экспериментальных данных, правильное оформление рукописи.

Научный журнал «Вестник Томского государственного университета. Биология» является реферируемым, рецензируемым, включен в **«Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».**

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-29499 от 27 сентября 2007 г.), ему присвоен международный стандартный номер сериального издания (ISSN 1998-8591).

«Вестник Томского государственного университета. Биология» выходит ежеквартально и распространяется по подписке, его подписной индекс 44024 в объединенном каталоге «Пресса России».

**Адрес редакции:** 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, ГОУ ВПО «Томский государственный университет», Биологический Институт.

Председатель редакции журнала – д-р биол. наук, профессор С.П. Кулижский
Тел. раб. 8–(382–2)–529–853
Факс (382–2)–529–853
E-mail: ***decan@bio.tsu.ru***

Ответственный секретарь редакции журнала – канд. биол. наук Е.Е. Акимова
Факс (382–2)–529–853
E-mail: ***vestnictsubiology@sibmail.com***

The scientific journal **"Tomsk State University Journal of Biology"** publishes the results of the completed original researches (theoretic and experimental articles) in different areas of contemporary biology which have not been published before in this or any other edition. Besides it includes descriptions of conceptually new methods of research, round-up articles on particular topics, reviews and chronicle.

The decision on publication is taken by the scientific editorial board after reviewing, considering its correspondence to the subject area of the journal, topicality of the problem, scientific and practical novelty and value, professionalism of work execution including statistical treatment of data research materials and quality of material preparation and presentation.

The main requirements to the articles are novelty and validity of factual material, clarification and brevity of the summary, reproducibility of experimental data and appropriate presentation of the manuscript (to know more about the requirements to the rules of material presentation, please, see "Presentation rules"). **The medium term of publication is 1–2 years after receiving a paper variant of the package of documents.**

The scientific journal "Tomsk State University Journal of Biology" is read and reviewed and is included on "The list of the leading reviewed scientific journals and editions where the main scientific results of candidate's or doctoral thesis are to be published" (Decision of the State Commission for Academic Degrees and Titles as of February 19, 2010, № 6/6 – http://vak.ed.gov.ru/ru/news/allnews /index.php?id4=2571). The journal is registered in Russian Federal Service for Supervision in the Sphere of Mass Communication, Communications and the Protection of Cultural Heritage (certification of registration: PI № FS 77-29499 as of September 27, 2007). It is given an international standard serial edition number (ISSN 1998-8591).

All articles received by the editorial board are to be reviewed. Publications in the journal are free (on non-commercial basis).

"Tomsk State University Journal of Biology" is issued quarterly and is **distributed by subscription only**; its subscription index can be found in the unified catalogue "The Press of Russia". Full-text versions of the issued editions are available at "Archives".

**Address:** Tomsk State University, Biological Institute, 36 Lenina St., Tomsk, 634050, Russia.

Научный журнал

**ВЕСТНИК**
Томского государственного университета
**БИОЛОГИЯ**
2012. № 4 (20)

| | |
|---|---|
| Редактор | К.В. Полькина |
| Корректор | Н.А. Афанасьева |
| Оригинал-макет | А.И. Лелоюр |
| Дизайн обложки | Я. Якобсона (проект «Пресс-интеграл», факультет журналистики ТГУ) |

Подписано в печать 3.12.2012 г. Формат 70x108 $^{1}/_{16}$.
Усл. печ. л. 19,6. Тираж 500 экз. Заказ № .

Отпечатано на оборудовании
Учебно-производственной типографии
Томского государственного университета
634000, г. Томск, пр. Ленина, 66