

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# **BioClimLand**

## **Biota, Climate, Landscapes**

**№ 2 2013**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Свидетельство о регистрации: ПИ № ФС77-55218  
от 26 августа 2013 г.

**Состав редакционного совета и редакционной коллегии  
журнала BioClimLand (Biota, Climate, Landscapes)**

**Главный редактор:** Кирпотин Сергей Николаевич — доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ботаники Биологического института Томского государственного университета (Томск); **заместитель главного редактора:** Бретт-Кроузер Михаэль — главный редактор журнала «International Journal of Environmental Studies» (Великобритания).

**Редакционный совет:** Каллаган Теренс — ведущий профессор Королевской Шведской Академии наук, профессор Университета Шеффилда (Великобритания), почетный доктор Томского государственного университета, Университета Лунда (Швеция) и Университета Оулу (Финляндия), координатор Циркумполярной сети арктических и высокогорных станций SCANNET/INTERACT; Кирпотин Сергей Николаевич — доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ботаники Биологического института Томского государственного университета (Томск); Бретт-Кроузер Михаэль — главный редактор журнала «International Journal of Environmental Studies» (Великобритания); Кёрнер Христиан — профессор Университета Базеля, координатор высокогорной станции «Альпфор» Циркумполярной сети арктических и высокогорных станций SCANNET/INTERACT (Швейцария); Блэйтен Владимир — профессор Университета Утрехта (Нидерланды).

**Редакционная коллегия:** Покровский Олег Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды ТГУ, ведущий научный сотрудник Обсерватории Миди-Пиренейз, координатор Европейской объединенной лаборатории геохимии окружающей среды (LEA LEAGE), Национальный центр научных исследований (CNRS) (Франция); Гловацки Петр — профессор Института геофизики Польской академии наук, координатор польской полярной станции «Хорнсунд» Циркумполярной сети арктических и высокогорных станций SCANNET/INTERACT (Польша); Голованевский Владимир Аркадьевич — доктор наук в области технологий производства материалов, профессор кафедры горного дела Технологического университета Кертин (Австралия); Горбатенко Валентина Петровна — доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой метеорологии и климатологии геолого-географического факультета Томского государственного университета (Томск); Гордов Евгений Петрович — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Международного исследовательского центра климато-экологических исследований Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (Томск); Зуев Владимир Владимирович — доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, заместитель директора по научной работе Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (Томск); Кураев Алексей Вячеславович — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геофизики и океанографии (LEGOS) Национального центра научных исследований (CNRS) (Франция); Полищук Юрий Михайлович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии Югорского государственного университета (Ханты-Мансийск); Романовский Владимир Евгеньевич — профессор Университета Аляска Фейрбанк (США), член Международной ассоциации по мерзлотведению; Фалтынов Вяслав — доктор наук, профессор, заведующий кафедрой биоразнообразия и охраны растительного покрова Университета Вроцлава (Польша); Филлей Тимоти — профессор Университета Пердью (США); Функ Дмитрий Анатольевич — доктор исторических наук, профессор, заведующий отделом Севера и Сибири Института этнологии и антропологии Российской академии наук (Москва); Халички Войцех — доктор наук в области экологии, профессор биологии и технологий по защите окружающей среды факультета биологии и наук об окружающей среде Университета им. Кардинала Стефана Вышинского в Варшаве (Польша); Хергел Юрген — доктор наук в области физической географии, профессор Университета Бонна (Германия); Бляхарчук Татьяна Артемьевна — доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (Томск).

**Ответственный секретарь редакционной коллегии:**

Волкова Ирина Ивановна — заведующая лабораторией биогеоценологии Научно-исследовательского института биологии и биофизики ТГУ, доцент кафедры ботаники Биологического института Томского государственного университета.

**Технический секретарь редакционной коллегии:**

Манасыпов Ринат Мратович — научный сотрудник лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Биологического института Томского государственного университета.

**Адрес редакции:**

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, стр. 1, Томский государственный университет,  
Научно-исследовательский Институт биологии и биофизики.

*Главный редактор* — доктор биол. наук, профессор Кирпотин Сергей Николаевич  
E-mail: kirp@mail.tsu.ru

*Ответственный секретарь редакции* — канд. биол. наук Волкова Ирина Ивановна  
Тел. +7-923-405-99-79

E-mail: BioClimLand@yandex.ru

Сайт журнала и онлайн-подача статей: <http://journals.tsu.ru/bcl>

## **Editorial Council and Editorial Board of BioClimLand (Biota, Climate, Landscapes)**

**Editor-in-Chief: Professor Sergey N. Kirpotin** – Doctor of Biology, Director / Center of Excellence «BioClim-Land», National Research Tomsk State University (Russia);

**Editorial Council: Professor Terence V. Callaghan** – Royal Swedish Academy of Sciences Distinguished Professor; Professor of Arctic Ecology, University of Sheffield (UK); Honorary Doctor of Tomsk State University (Russia), Lund University (Sweden) and Oulu University (Finland); Head of the SCANNET/INTERACT Network; **Dr. Michael Brett-Crowther** – Editor-in-Chief / International Journal of Environmental Studies (UK); **Professor Christian Korner** – Basel University; Coordinator / Alpine Station “Alpfor” of the SCANNET/INTERACT Network (Switzerland); **Emeritus professor Wladimir Bleuten** – Dept. of Physical Geography, Soil and Water Systems Analyses, Utrecht University (Netherlands).

**Editorial Board: Dr. Oleg S. Pokrovsky** – Head / Laboratory of Biogeochemical and Remote Methods of Environmental Monitoring, National Research Tomsk State University; Leading scientist of Observatoire Midi-Pyrénées; Coordinator of LEA LEAGE, CNRS (France); **Professor Piotr Glowacki** – Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences; Coordinator / Polar Station “Hornsund” of the SCANNET/INTERACT Network (Poland); **Professor Vladimir A. Golovanevskiy** – Dept. of Mining Engineering and Metallurgical Engineering, Western Australian School of Mines, Curtin University (Australia); **Professor Valentina P. Gorbatenko** – Head / Dept. of Meteorology and Climatology, National Research Tomsk State University (Russia); **Professor Evgeny P. Gordov** – Leading scientist, Siberian Center for Environmental Research and Training, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS (Tomsk, Russia); **Professor Vladimir V. Zuev** – Associate member of RAS, Vice-Director – Science / Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS (Tomsk, Russia); **Dr. Alexei V. Kuraev** – Leading scientist, LEGOS, Observatoire Midi-Pyrénées (CNRS) (France); **Professor Yuri M. Polishchuk** – Head / Dept. of Ecology, Yugra State University (Russia); **Professor Vladimir E. Romanovsky** – Member of International Permafrost Association; Head / Permafrost Laboratory, Geophysical Institute UAF Fairbanks (USA); **Professor Wieslaw Faltynowicz** – Head / Dept. of Biodiversity and Plant Cover Protection, Wrocław University (Poland); **Associate Professor Timothy R. Filley** – Dept. of Earth, Atmosphere and Planetary Sciences, Purdue University (USA); **Professor Dmitry A. Funk** – Head / Dept. Northern and Siberian Studies, Institute of Ethnology and Anthropology RAS (Moscow, Russia); **Professor Wojciech Halicki** – Dept. of Biology and Environmental Sciences, Cardinal Stefan Wyszyński University (Poland); **Professor Juergen Herget** – Dept. of Geography, Bonn University (Germany); **Dr. Tatiana A. Blyakharchuk** – Senior Researcher / Forest Ecosystems Monitoring Laboratory, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS (Tomsk, Russia).

**Executive secretary: Irina I. Volkova** – PhD, Head / Laboratory of Biogeocoenology, Research Institute of Biology and Biophysics, National Research Tomsk State University (Russia); Associate professor, Dept. of Botany, Tomsk State University (Russia).

**Technical secretary: Rinat M. Manasypov** – PhD, Researcher, Laboratory of Biogeochemical and Remote Methods of Environmental Monitoring, National Research Tomsk State University (Russia).

## **Contacts:**

Tomsk State University, Biology and Biophysics Research Institute,  
36 Lenina St., Tomsk, 634050, Russia

*Editor-in-Chief* – Professor Sergey N. Kirpotin, kirp@mail.tsu.ru

*Executive secretary* – Irina I. Volkova, PhD

Cell tel +7-923-405-99-79, BioClimLand@yandex.ru

<http://journals.tsu.ru/bcl>

УДК 595.771

## Особенности сезонной активности представителей массовых родов грибных комаров (Diptera, Sciaroidea) подтаежной зоны Западной Сибири

Е.Ю. Субботина, Ю.В. Максимова

Томский государственный университет (Томск, Россия)

В ходе исследований экологии грибных комаров (Diptera, Sciaroidea) подтаежной зоны Западной Сибири изучена динамика лётной активности внутри самых крупных по количеству видов и самых массовых родов: *Bolitophila*, *Mycomya*, *Exechia*, *Trichonta*, *Phronia*, *Mycetophila*. Структурный анализ таксономического состава активного взрослого населения грибных комаров в течение сезона показал, что в начале сезона доминируют представители рода *Exechia*, в августе – *Mycetophila*, в середине лета возрастает значимость родов *Mycomya*, *Phronia*, *Trichonta*. Максимальное видовое разнообразие для родов *Bolitophila*, *Trichonta* и *Mycetophila* отмечено в третью декаду мая, *Exechia* – в первую декаду мая, *Phronia* – в конце июня. Для представителей видов типичных обитателей плодовых тел грибов характерен лёт с двумя периодами активности – в начале и конце сезона, с обязательным промежутком между ними, составляющим, как правило, не менее месяца. Для видов, развивающихся на мицелии дереворазрушающих грибов, более характерен растянутый период лёта в течение всего сезона или в его первой половине с максимумом в самые теплые декады. В пределах каждого рода наблюдаются несколько стратегий лётной активности, на основании анализа которых выделены пять типов лётной стратегии Sciaroidea: 1. Виды с одним периодом активности в первой половине сезона. 2. Виды с двумя короткими периодами активности – в начале и конце сезона, с промежутком между ними, составляющим не менее двух месяцев. 3. Виды с двумя длительными периодами активности – в начале и конце сезона, с обязательным промежутком между ними, составляющим, как правило, не менее месяца. 4. Виды, летающие на протяжении всего летнего сезона с середины мая до сентября. 5. Виды, имеющие исключительно осеннюю активность, летающие со второй половины августа. Показано, что стратегии лётной активности локальных фаун отражают особенности климатических условий и ландшафта конкретного региона.

*Ключевые слова:* подтайга, Западная Сибирь, Sciaroidea, грибные комары, экология, фенология.

### Введение

Надсемейство Sciaroidea насчитывает около пяти тысяч видов и представлено по всему земному шару как типичная дендрофильная группа насекомых. Изучение грибных комаров в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины (юг

Томской области) в пределах подтаежной биоклиматической зоны ведётся уже более полувека. В настоящее время фауна трех отмеченных в подтайге семейств грибных комаров Bolitophilidae, Keroplatidae и Mucetophilidae включает, по меньшей мере, 290 видов, относящихся к 42 родам и 8 подсемействам [1, 2, 3, 4, 5].

Наиболее характерной чертой биологии грибных комаров является их выраженная топическая и трофическая связь с грибами. Эта группа рассматривается в качестве важнейшего компонента своеобразных сообществ — мицетоконсорций. Мутуалистический характер взаимоотношений сциароидов с грибами определяет не только характер питания и развития личинок, но и многие важные черты образа жизни имаго. В частности, изменение состава плодовых тел грибов под влиянием гидротермического режима в течение вегетационного сезона ведет к значительным изменениям сезонной динамики как отдельных видов, так и населения грибных комаров в целом.

До последнего времени большинство знаний по фенологии грибных комаров Сибири базировалось преимущественно на фаунистических сборах, тогда как в Европе такие исследования проводились [6, 7, 8]. Единственное достаточно подробное исследование сезонной динамики грибных комаров на юге Западной Сибири было проведено в Кузнецком Алатау в период 1998–2001 гг. [9, 10, 11].

Подтаёжная зона Западно-Сибирской равнины значительно отличается по климатическим особенностям от регионов, где эта сторона экологии грибных комаров наиболее изучена. В связи с этим исследование фенологии Sciaroidea подтайги представляется нам интересной и актуальной задачей.

### Материалы и методика

Исследования проводились в юго-восточной части западносибирской равнины (юг Томской области) на территории площадью около 23,9 тыс. км<sup>2</sup>, ограниченной координатами 56–58° с.ш., 83–87° в.д. Территория исследований характеризуется континентальным климатом, по количеству выпадающих осадков относится к зоне умеренного увлажнения (среднее количество осадков за год 517 мм). Среднегодовая температура составляет –0,4°С. Зима умеренно суровая. Холодный период с температурой ниже 0°С длится 145 дней. Средняя температура января –19,2°С. Лето теплое, влажное. Средняя температура июля +18,1°С. Продолжительность вегетационного периода с температурой выше 10°С равна 119–127 дням [12].

Сборы материалов проводились с начала мая до конца октября в 1998–2002 и 2008–2011 гг. в Томском, Асиновском и Кемеровском районах Томской области. Собирались и исследовались только имагинальная стадия грибных комаров. Всего собрано свыше 3,5 тысяч экземпляров.

Изучение количественных параметров сезонной динамики проводилось в березово-сосновом лесу в окрестностях п. Аникино. За основу брали количество особей собранных энтомологическим сачком в течение часа во второй половине дня. Для учета брали среднее значение количества собранных экземпляров за декаду. Полученные данные были дополнены сведениями по сезонной динамике видового разнообразия всех исследованных биотопов на основании дат сборов.

### Результаты исследования и обсуждение

Характерной особенностью грибных комаров является способность образовывать большие многовидовые скопления в подходящих укрытиях, где практически никогда не встречаются другие двукрылые. Кроме того, независимо от метода

сбора, массовых видов, т.е. тех, которые в сборах представлены десятками экземпляров, крайне мало, остальные виды представлены единичными особями. Эта закономерность подтверждается и для ловушек различных типов, и для метода выведения из грибов [13; 8], и при ловле сачком.

Таким образом, анализ лётной активности прежде всего самых массовых видов позволяет выявить некоторые общие для всех грибных комаров закономерности фенологии. Большая часть этих видов относится к родам *Bolitophila*, *Mycomya*, *Exechia*, *Trichonta*, *Phronia*, *Mycetophila*. Рассматривая в данном исследовании род не в качестве систематической единицы, а в первую очередь в качестве группы видов со сходными биологическими и экологическими особенностями, мы проанализировали основные типы лётных стратегий в пределах этих 6 родов.

Активный лет комаров рода *Bolitophila* начинается в последней декаде мая, хотя отдельные виды встречаются и раньше. Так, представители самых ранних видов *Bolitophila hybrida* и *B. ingraca* отмечены 14 мая. С 20 по 31 мая активны взрослые комары 11 видов этого рода. Максимума лёт достигает в первой декаде июня — 7,75 экз./сбор, что составляет 18,1% от общего числа собранных в это время грибных комаров (рис. 1, а). В это же время максимально разнообразие болитофилид: отмечено 12 видов. Во второй декаде июня следует резкий спад, и до середины августа количество этих комаров в сборах минимально. Второй пик численности, приходящийся на вторую половину августа, менее выражен, среднее количество экземпляров в сборах увеличивается до 3,7. Доля комаров этого рода в августе и сентябре остается небольшой и составляет 4–7%, возрастая до 10% только в первой декаде октября, когда большинство представителей других родов уже не активны.

У комаров рода *Bolitophila* можно выделить два основных типа лётной активности:

1. Виды с одним достаточно коротким весенне-летним периодом активности, характеризующимся четким максимумом: *B. dubia*, *B. edwardsiana*, *B. glabrata*, *B. obscurior*, *B. tenella*, *B. ingraca*, *B. austriaca*, *B. occlusa*, *B. aperta*.
2. Виды с двумя периодами активности — в начале и конце сезона, с промежутком между ними, составляющим не менее двух месяцев: *B. bimaculata*, *B. modesta*, *B. nigrolineata*, *B. cinerea*, *B. fumida*, *B. hybrida*. У трех последних видов второй период активности длится более трех декад, без четкого единственного максимума.

Отмеченные нами только в осенние месяцы редкие виды *B. basicornis* и *B. pseudohybrida*, возможно, также следует отнести ко второй группе, так как в других регионах Сибири они были отмечены и в начале сезона [1].

Имаго *B. saundersi* единично встречаются в сборах на протяжении двух летних месяцев (с 27 мая по 21 июля), представляя третий тип лётной стратегии, чаще встречающийся у комаров других родов.

По наблюдениям европейских исследователей, род дает два четких пика численности — весенний, приходящийся на май и первую половину июня, и осенний — с конца августа по ноябрь [14]. В условиях Кузнецкого Алатау большинство видов этого рода имеют первый тип сезонной динамики [15].

Лёт комаров рода *Mycomya* продолжается в течение всего вегетационного периода кроме ранних весенних месяцев. Нами был найден единственный вид: *M. tenuis*, начинающий активный лёт в середине мая. Этот же вид в качестве самого раннего (лёт в начале мая) зарегистрирован и в Финляндии [16]. Представители

большинства видов в условиях подтайги начинают лететь в конце июня – начале июля (рис. 1, б). Пик их активности приходится на июль, в первой декаде которого отмечено 5 видов. Относительное количество особей возрастает к последней декаде июля, составляя 11,9% от всех собранных комаров. Со второй декады августа доля *Mycetua* в сборах не превышает 4% (0,3–2 экз./сбор). В сентябре лет заканчивается, последним (21 сентября) уходит на зимовку *M. sigma*.

У комаров рода *Mycetua* нами выделены два основных типа лётной активности:

1. Виды с одним летним периодом активности продолжительностью от одной до трех декад: *Mycetua bicolor*, *M. maura*, *M. occultans*, *M. ornata*, *M. shermani*, *M. trivittata*, *M. ruficollis*, *M. brunnea*.

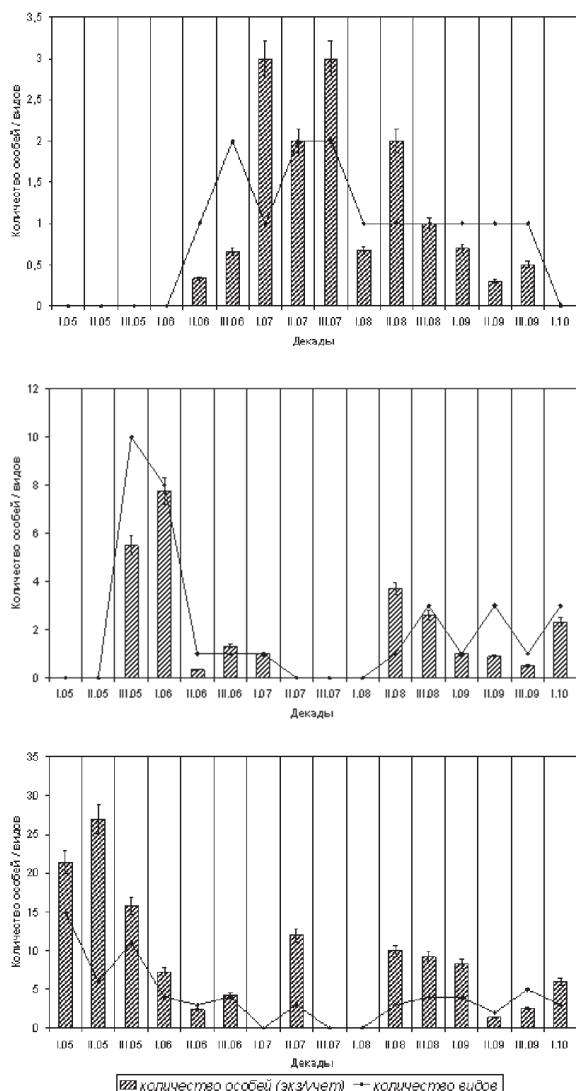


Рис. 1. Сезонная динамика активности комаров родов *Bolitophila* (а), *Mycetua* (б), *Exechia* (в)



В таежных лесах Карелии для большинства видов этого рода также характерен один период лётной активности, но приуроченный к весенним или осенним месяцам. Для Финляндии *M. ruficollis*, имеющий в Западной Сибири короткий массовый лёт в конце июня – начале июля, указывается как вид с растянутым лётном, наиболее массовым в летние месяцы [16]. Такое смещение и сокращение сроков лёта вызвано, вероятно, более коротким вегетационным периодом и выраженной континентальностью климата Западной Сибири. Характерно, что подобный сдвиг периода максимальной лётной активности комаров рода *Mycomya* на июнь – июль наблюдается и в условиях Кузнецкого Алатау.

2. Виды с двумя периодами активности, с промежутком между ними, составляющим от одного до двух месяцев: *M. egregia*, *M. winnertzi*, *M. norna*, *M. tenuis*. Первый период приходится на конец июня – начало июля, второй – на конец августа – начало сентября.

Наиболее продолжительный лёт, 5 декад, отмечен у *M. tenuis* и *M. sigma*. При этом пик численности первых приходится на начало, а вторых – ближе к концу сезона.

Характерной чертой сезонной динамики лёта *Exechia* является высокий пик активности в самом начале сезона (рис. 1, в). Уже в первой декаде мая количество комаров этого вида 21,4 экз./сбор, а во второй достигает максимального значения – 27 экз./сбор. В это время *Exechia* составляют основную массу всех летающих комаров, относительное их количество – 58–67%.

Максимум лёта в начале сезона имеют большинство зарегистрированных видов: 24 вида из 28, в том числе 15 видов начинают свой лёт уже в первую декаду мая. Самые ранние виды зарегистрированы 2 мая: *E. cornuta*, *E. dizona*, *E. dorsalis*, *E. exiqua*, *E. lucidula*, *E. nigroscutellata*, *E. separata*, *E. seriata*, *E. similis*, *E. spinigera*.

Комары этого рода активны в течение всего сезона. Небольшие пики приходятся на конец июня – начало июля и вторую декаду августа и связаны с периодами плодоношения грибов. Осенний период активности довольно растянут, без четкого единственного максимума. Позднее других заканчивают свой лёт *E. dorsalis*, *E. contaminata*, *E. nigroscutellata*, 15 самцов последнего вида было собрано 9 сентября 2000 г.

Можно выделить следующие типы лётной активности *Exechia*:

1. Виды с одним периодом активности в первой половине сезона. Короткий период лёта с начала мая до начала июня демонстрируют *E. fusca*, *E. nigrofusca*, *E. repanda*, *E. unifasciata*, *E. unimaculata*, а с конца июня до конца июля – *E. spinuligera*, *E. subcornuta*, *E. lundstroemi*, *E. parvula*. Более продолжительный лёт, охватывающий два – три месяца, характерен для *E. parva*, *E. spinigera*, *E. subfrigida*, *E. frigida*.

2. Виды с двумя короткими периодами активности с промежутком между ними не менее 9 декад: *E. exiqua*, *E. lucidula*, *E. macula*, *E. similis*, *E. dorsalis*. Первый период активности этих комаров приходится на май, второй – на август – октябрь.

3. Виды, регистрируемые на протяжении большей части сезона (не менее трех месяцев), с выраженным максимумом активности в мае и осенним подъемом численности: *Exechia cincta*, *E. cornuta*, *E. pseudocincta*, *E. separata*, *E. confinis*, *E. seriata*, *E. sororcula*, *E. papyracea*, *E. dizona*, *E. nigroscutellata*, *E. contaminata*.

Ряд видов из этой группы отмечались в Европе как типично осенние, в частности *Exechia contaminata* в Карелии летит с августа по октябрь, давая наибольший пик в первой декаде октября [17]. Нами видов, имеющих исключительно осеннюю активность, среди *Exechia* отмечено не было. Ранневесенний пик, характер-



ный для этой группы в условиях подтайги, вероятно, обусловлен необходимостью дополнительного имагинального питания после длительной суровой зимовки. Среди комаров, встречающихся на вытекающем древесном соке, значительную часть, по нашим наблюдениям и данным других исследователей [2], составляют представители этого рода.

Виды рода *Phronia* начинают лёт во второй декаде мая, сохраняют активность на протяжении всего вегетационного периода и заканчивают его в начале октября. Пик лёта приходится на последнюю декаду июня (рис. 2, а).

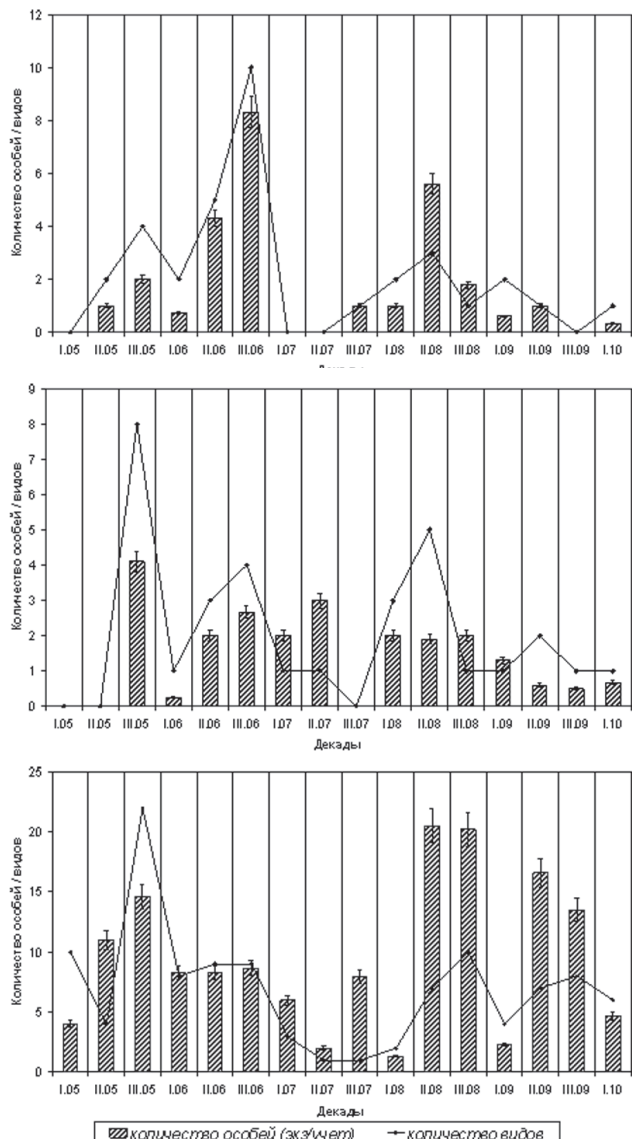


Рис. 2. Сезонная динамика активности комаров родов *Phronia* (а), *Trichonta* (б), *Mycetophila* (в)

В это время численность их составляет 8,32 экз./учет, около 30% приходится на массовые виды: *P. bicolor*, *P. nigricornis*. Число видов, зарегистрированных во всех биотопах, также достигает максимального значения в конце июня – начале июля (16 из 29), в это же время они и самые массовые в сборах – 25%. Второй пик значительно меньше первого, приходится на вторую декаду августа. Лёт самых ранних видов *P. elegans*, *P. obscura*, *P. silvatica* отмечен 14 мая, самого позднего *P. nigricornis* – 2 октября.

У *Phronia* нами выделено три основных типа лётной активности:

1. Виды с периодом лёта, приходящимся на первую половину сезона с максимумом в конце июня – начале июля: *P. taczanowskyi*, *P. aviculata*, *P. signata*, *P. silvatica*, *P. biarcuata*, *P. elegans*, *P. strenua*, *P. bicolor*, *P. defensa*, *P. obtusa*, *P. flavipes*, *P. gagnei*, *P. peculiaris*, *P. interstincta*, *P. maculata*.

2. Виды, летающие на протяжении всего сезона, кроме ранней весны: *P. forcipula*, *P. nigricornis*, *P. nitidiventris*.

3. Виды с двумя периодами активности с промежутком между ними не менее месяца: *P. obscura*, *P. forcipata*, *P. egregia*, *P. exiqua*, *P. petulans*, *P. siebeckii*, *P. longaelamellata*, *P. sudetica*, *P. cinerascens*, *P. tenuis*.

Можно отметить, что для большинства видов рода *Phronia* характерен лёт на протяжении от 3 до 5 декад в июне – июле. Аналогичную лётную стратегию демонстрируют многие представители этого рода в других регионах Сибири [15].

Сезонная динамика *Trichonta* сходна с таковой у *Phronia*, что определяется сходством их экологических особенностей: личинки представителей многих видов этих родов развиваются на разлагающейся древесине. Активность их начинается со второй декады мая, к концу мая достигает максимума и длится до начала октября с небольшим спадом во второй и третьей декадах июля (рис. 2, б).

Во время пика численность их составляет 4,1 экз./учет, в это время в светлохвойном лесу в окрестностях п. Аникино отмечена активность 8 видов из 12 с численностью каждого 0,3–1,3 экз./учет. Число видов, зарегистрированных во всех биотопах, достигает максимального значения в первой декаде июля (9 из 18).

Так же как и у *Phronia*, второй подъем численности происходит с начала августа, когда их доля в сборах становится самой значительной за сезон – 17%. Лёт самых ранних видов *T. brevicauda*, *T. girschneri*, *T. melanura*, *T. sub-maculata* отмечен 14 мая, самого позднего *T. atricauda* – 2 октября.

У комаров рода *Trichonta* нами выделено два основных типа лётной активности:

1. Виды с одним периодом активности продолжительностью от одной до четырех декад. В первой половине сезона летят: *T. girschneri*, *T. bicolor*, *T. patens*, *T. flavicauda*, *T. vulgaris*, во второй: *T. amica*, *T. subfusca*, *T. vitta*.

2. Виды, летающие на протяжении всего летнего сезона с середины мая до сентября. В течение этого периода, вероятно, сменяется несколько поколений. К этой группе относятся: *Trichonta altaica*, *T. atricauda*, *T. venosa*, *T. vulcani*, *T. generosa*, *T. melanura*, *T. brevicauda*, *T. hamata*, *T. submaculata*.

Подобную динамику сезонной активности демонстрируют представители этого рода и в других регионах России [17, 15], где виды, летающие на протяжении всего вегетационного периода, также составляют большинство. В то же время в Кузнецком Алатау у комаров массовых видов *T. melanura* и *T. vulcani* отмечается хорошо выраженный пик численности в июле. В наших условиях эти виды сохраняют относительно высокую численность в течение всего периода лёта без чётких максимумов.

Комары самого многочисленного как в видовом отношении, так и по количеству учтенных экземпляров рода *Mycetophila* отмечались нами на протяжении всего периода наблюдения (см. рис. 2, в). Представители этого рода летают с самой ранней весны до начала установления снежного покрова. *M. signatoides*, *M. gibbula*, *M. pumila*, *M. triangularis*, *M. vittipes* начинают свой активный лёт уже 2 мая, а всего в первую майскую декаду активно 10 видов рода *Mycetophila*. Количество вылетевших особей возрастает в течение мая, достигая в третьей декаде величины 14,6 экз./сбор. В это же время увеличивается и число зарегистрированных видов – 23, 22 из которых отмечены в светлосвойном лесу в окрестностях п. Аникино. Необходимо отметить, что в это время наблюдается максимальное видовое разнообразие *Mycetophila*.

Второй подъем численности комаров этого рода начинается с третьей декады июля. Он приурочен, вероятно, к появлению второго слоя агариковых грибов, продолжающегося с конца июля по сентябрь [19], и обусловлен наиболее благоприятными микроклиматическими условиями для лётной активности имаго [20]. Численность *Mycetophila* нарастает быстрыми темпами при относительно небольшом увеличении видового разнообразия, в первую очередь за счет массовых видов: *M. luctuosa*, *M. lunata*, *M. schnablii*, *M. sigillata*, *M. signata*. Последний всплеск численности и видового разнообразия, приходящийся на конец сентября – начало октября, связан с появлением осеннего поколения комаров группы видов, для некоторых из которых отмечена приуроченность к поздним осенним видам грибов [21]: *M. abiecta*, *M. signatoides*, *M. caudata*, *M. confluens*, *M. fungorum*, *M. laeta*, *M. luctuosa*, *M. ocellus*, *M. ruficollis*, *M. schnablii*, *M. signata*.

В целом, для *Mycetophila* можно выделить следующие типы лётной активности:

1. Виды с одним более-менее коротким периодом активности в первой половине сезона, характеризующимся четким максимумом: *M. attonsa*, *M. blanda*, *M. bohémica*, *M. gratiosa*, *M. lubomirskii*, *M. magnicauda*, *M. sumavica*, *M. v-nigrum*, *M. ichneumonea*, *M. unipunctata*, *M. pumila*, *M. triseriata*, *M. mohilivensis*, *M. sublunata*, *M. vittipes*.

2. Виды, имеющие продолжительную лётную активность в первые три месяца сезона: *M. dentata*, *M. gentilicia*, *M. zetterstedti*, *M. finlandica*, *M. setifera*. Последние два вида регистрировались на протяжении всех трех месяцев, остальные отмечены в двух декадах с большими интервалами между ними (не менее четырех декад).

3. Виды, имеющие исключительно осеннюю активность, летающие со второй половины августа: *M. morosa*, *M. quadra*, *M. lunata*.

4. Виды с двумя периодами активности – в начале и конце сезона, с обязательным промежутком между ними, составляющим, как правило, не менее месяца: *M. abiecta*, *M. caudata*, *M. trinotata*, *M. signata*, *M. strigatoides*, *M. triangularis*, *M. gibbula*, *M. laeta*, *M. sigillata*, *M. sordida*. Оба периода часто бывают довольно растянутыми, без четкого единственного максимума или с максимумом во второй половине сезона.

5. Виды, активные на протяжении всего сезона: *M. alea*, *M. dziedzickii*, *M. signatoides*, *M. stylata*, *M. schnablii*, *M. ruficollis*, *M. confluens*, *M. luctuosa*, *M. fungorum*, *M. ocellus*.

В эту группу вошли виды, которые упоминаются другими авторами как более тяготеющие к осенним месяцам: *M. ruficollis*, *M. fungorum* и *M. luctuosa*. *M. luctuosa* отмечался в Европе с конца августа по октябрь, а *M. fungorum* и *M. ruficollis* – с марта по декабрь, но наиболее массово – с конца августа по ноябрь включительно [8]. У нас эти виды массово встречались в начале сезона. Лёт *M. ocellus* в Кузнецком Алатау не

захватывает ранние весенние месяцы, давая вспышки численности в июле. Нами отмечена достаточно высокая активность этого вида уже со второй декады мая.

Структурный анализ таксономического состава активного взрослого населения грибных комаров в течение сезона показал, что в начале сезона доминируют представители рода *Exechia*, в августе – *Mycetophila*, в середине лета возрастает значимость родов *Mycomya*, *Phronia*, *Trichonta*. Максимальное видовое разнообразие для родов *Bolitophila*, *Trichonta* и *Mycetophila* отмечено в третью декаду мая, *Exechia* – в первую декаду мая, *Phronia* – в конце июня. Для представителей видов типичных обитателей плодовых тел грибов характерен лёт с двумя периодами активности – в начале и в конце сезона, с обязательным промежутком между ними, составляющим, как правило, не менее месяца. Для видов, развивающихся на мицелии дереворазрушающих грибов, более характерен растянутый период лёта в течение всего сезона или в его первой половине с максимумом в самые теплые декады.

### Заключение

В результате анализа динамики лёта представителей ведущих родов нами были выделены 5 групп видов с отличающимися стратегиями лётной активности в условиях подтаежной зоны юга Западной Сибири. Данные по фенологии видов других родов, представители которых встречаются реже, показал, что их можно также отнести к одной из выделенных нами групп.

**1. Виды с одним периодом активности в первой половине сезона.** Такой тип лётной активности отмечается у многих представителей ведущих родов. В этой группе можно выделить виды с преимущественно коротким периодом лёта с начала мая до начала июня: виды родов *Bolitophila*, *Exechia*, *Pseudexechia* (рис. 3, а); виды с продолжительной лётной активностью с максимумом в летние месяцы: многие представители *Mycomya*, *Anatella*, *Rymosia*, *Phronia*, *Trichonta* и *Mycetophila* (рис. 3, б).

**2. Виды с двумя короткими периодами активности – в начале и конце сезона, с промежутком между ними, составляющим не менее двух месяцев.** Этот тип сезонной динамики наиболее ярко проявляется у ряда представителей родов *Bolitophila* и *Exechia* (рис. 3, в).

**3. Виды с двумя длительными периодами активности – в начале и конце сезона, с обязательным промежутком между ними, составляющим, как правило, не менее месяца.** Данный тип активности типичен прежде всего для представителей видов обитателей плодовых тел грибов рода *Mycetophila*, а также многих *Phronia*. Для этих комаров характерно, что в весеннем периоде активности пик более или менее выражен и приходится на конец мая – июнь, однако максимальная численность достигается во второй половине сезона и связана с плодоношением грибов. Снижение численности обычно приходится на самую середину лета: вторую и третью декады июля и первую декаду августа.

**4. Виды, летающие на протяжении всего летнего сезона с середины мая до сентября.** В течение этого периода, вероятно, сменяется несколько поколений (рис. 3, д, е). К этой группе относятся многие виды *Phronia*, *Trichonta* и *Mycetophila*.

**5. Виды, имеющие исключительно осеннюю активность, летающие со второй половины августа** (рис. 3, ж, з). Это небольшая группа, включающая по 3 вида из родов *Mycetophila* и *Trichonta*, а также такие виды, как *Exechiopsis davatchii*, *Exechiopsis seducta*, *Exechiopsis indecisa*, *Pseudexechia trivittata*, *Rymosia affinis*, *Boletina gripha*, *Allodia ornaticollis*.

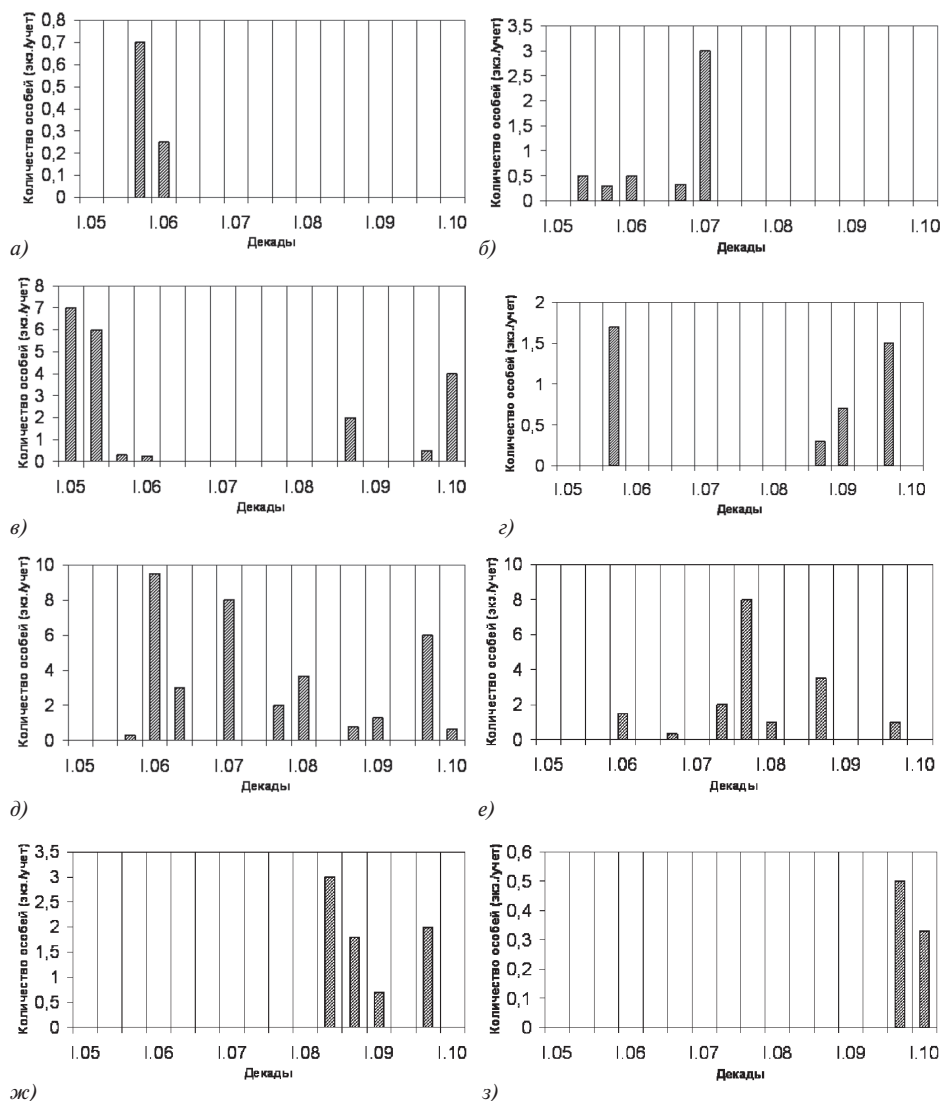


Рис. 3. Сезонная динамика активности некоторых видов грибных комаров: а – *Bolitophila tenella*; б – *Allodia pyxidiiformis*; в – *Exechia nigroscutellata*; г – *Allodia septentrionalis*; д – *Notoophya cristata*; е – *Mycetophila schnablii*; ж – *Mycetophila signata*; з – *Exechiopsis indecisa*

В результате исследования нами выделено пять типов лётной стратегии, тогда как в условиях среднетаёжной подзоны Карелии выделяется четыре типа [17], а в условиях горно-таёжных ландшафтов центральной части Кузнецкого Алатау только три типа [22]. В частности, в Кузнецком Алатау с его коротким летом и повышенным количеством осадков отсутствуют виды, имеющие два пика активности. Эти виды в горной тайге или теряют осенний пик, или активны на протяжении всего сезона без резких всплесков численности. Смещение максимумов

лёт на летние месяцы у видов, которые в Европе летят осенью, отмеченное в Кузнецком Алатау, прослеживается и в западносибирской подтайге.

Характерной особенностью фенологии сциароидов района исследований является преобладание в фауне видов, неактивных в самые жаркие декады года. Тогда как в Карелии, с холодным и дождливым летом, подобного резкого снижения активности грибных комаров в середине сезона не наблюдается и преобладающей лётной стратегией является длительный равномерный лёт на протяжении всего летнего сезона. Данный тип активности нами отмечен главным образом для видов, обитающих на гниющей древесине, и не характерен для типичных мицетобионтов.

Таким образом, климатические условия местности оказывают непосредственное влияние на характер летной активности Sciaroidea.

## Литература

- [1] *Островерхова Г.П.* Мицетофилоидные комары (Diptera, Mycetophiloidea) Сибири. Томск : Изд-во ТГУ, 1979. 305 с.
- [2] *Максимова Ю.В., Субботина Е.Ю.* Новые виды *Mycetophila* Meig. (Diptera, Mycetophilidae) из Западной Сибири // Евразийский энтомологический журнал. 2010, № 9(4). С. 668–670.
- [3] *Субботина Е.Ю.* Грибные комары (Diptera, Sciaroidea) подтайги Западной Сибири, (Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing). 2013. 156 с.
- [4] *Субботина Е.Ю., Максимова Ю.В.* Новые и малоизвестные виды грибных комаров (Diptera, Mycetophilidae) из Западной Сибири // Евразийский энтомологический журнал. 2011. Вып. 10, № 3. С. 213–216.
- [5] *Subbotina E., Kurina O.* Notes on the collection of fungus gnats left by the late Prof. Galina Petrovna Ostroverkhova with a new specific synonymy in the genus *Mycetophila* Meigen (Diptera: Mycetophilidae) // Zootaxa. 2012. Vol. 3590. P. 86–88.
- [6] *Яковлев Е.Б.* Плодоношение грибов и сезонная активность двукрылых насекомых в сосновых и осиновых молодняках. Петрозаводск, 1988. 66 с.
- [7] *Hutson A.M., Acrkland D.M., Kidd L.N.* Mycetophilidae (Bolitophilinae, Dytomiinae, Diadocidiinae, Keroplatinae, Sciophilinae and Manotinae). Diptera, Nematocera // Handbooks for the Identification of British Insects. 1980. Vol. 9, № 3. P. 1–111.
- [8] *Russell-Smith A.* A study of fungus flies (Diptera, Mycetophilidae) in beech woodland // Ecological Entomology. 1979. Vol. 4. P. 355–364.
- [9] *Maximova Yu.V.* New species of fungus gnats (Diptera: Mycetophilidae) from Siberia // International Journal of Dipterological Research. 2001. Vol. 12, № 3. P. 137–140.
- [10] *Maximova, Yu.V.* An additional list of the fungus gnats (Diptera, Sciaroidea, excluding Sciariidae) from Kuznetsk Alatau Mountains // International Journal of Dipterological Research. 2002. Vol. 13, № 3. P. 191–199.
- [11] *Zaitzev A.I., Maximova Yu.V.* The Palaearctic species of subgenus *Notolepha* Tuomik. (Diptera, Mycetophilidae) // International Journal of Dipterological Research. 2000. Vol. 11. № 4. P. 173–179.
- [12] *Трифорова Л.И.* Климат // География Томской области. Томск : Изд-во Том ун-та, 1988. С. 42–76.
- [13] *Яковлев Е.Б., Полевой А.В.* К фауне длинноусых двукрылых (Diptera, Nematocera) заповедника «Кивач» // Флора и фауна охраняемых природных территорий Карелии. Петрозаводск, 1997. Вып. 1. С. 7–29.
- [14] *Зайцев А.И.* Грибные комары фауны России и сопредельных регионов. М. : Наука, 1994. 288 с.
- [15] *Максимова Ю.В.* Грибные комары (Diptera, Sciaroidea, excluding Sciariidae) Кузнецкого Алатау: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005. 235 с.
- [16] *Väisänen R.* A monograph of the genus *Mycetomya* Rondani in the Holarctic region (Diptera, Mycetophilidae) // Acta Zoologica Fennica. 1984. Vol. 177. 346 p.
- [17] *Полевой А.В.* Грибные комары (Diptera: Bolitophilidae, Dityomyiidae, Keroplatidae, Diadocidiidae, Mycetophilidae) Карелии. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2000. 84 с.

- [18] Кривошеина Н.П., Зайцев А.И., Яковлев Е.Б. Насекомые – разрушители грибов в лесах Европейской части СССР. М. : Наука, 1986. 307 с.
- [19] Миловидова Л.С., Островерхова Г.П., Толстова Н.Ю., Богатырева Л.А. Об изученности ресурсов шляпочных грибов // Продовольственная база Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1980. С. 106–110.
- [20] Субботина Е.Ю. Влияние микроклиматических условий на характер размещения на местности грибных комаров (Diptera, Sciaroidea, excl. Sciaridae) // Вестник Томского государственного университета. 2010. Вып. 339. С. 178–181.
- [21] Плотникова Г.П. Съедобные грибы Томской области и вредящие им насекомые. Заметки по фауне и флоре. Томск : Изд-во ТГУ, 1966. Вып. 19. С. 53–57.
- [22] Максимова Ю.В. Особенности фенологии грибных комаров (Diptera, Sciaroidea, excl. Sciarida) в условиях Кузнецкого Алатау // Тезисы докладов XII съезда Русского энтомологического общества. СПб., 2002. С. 225–226.

### Сведения об авторах

**Субботина Елена Юрьевна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии беспозвоночных Института биологии, почвоведения, экологии, сельского и лесного хозяйства Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: orfelia@sibmail.com

**Максимова Юлия Вадимовна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии беспозвоночных Института биологии, почвоведения, экологии, сельского и лесного хозяйства Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: allodia@sibmail.com

### About

**Elena Yu. Subbotina** – PhD, Assistant professor, Department of Invertebrate Zoology, Tomsk State University, Lenin ave., 36, 634050, Tomsk, Russia. E-mail: orfelia@sibmail.com

**Yulia V. Maximova** – PhD, Assistant professor, Department of Invertebrate Zoology, Tomsk State University, Lenin ave., 36, 634050, Tomsk, Russia. E-mail: allodia@sibmail.com

**E.Yu. Subbotina, Yu.V. Maximova**

Tomsk State University (Tomsk)

### Particularities of seasonal activity of representatives of fungus gnats (Diptera, Sciaroidea) most popular genera in subtaiga of Western Siberia

While studying the ecology of fungus gnats (Diptera, Sciaroidea) in coniferous subtaiga of Western Siberia the dynamics of flight activity within the largest by number of species and the most popular genera (*Bolitophila*, *Mycomya*, *Exechia*, *Trichonta*, *Phronia*, *Mycetophila*) was examined. Structural analysis of the taxonomic composition of fungus gnats active imago during the season has shown that early in the season representatives of the *Exechia* dominate, in August – *Mycetophila*, in mid-summer the importance of *Mycomya*, *Phronia*, *Trichonta* genera grows. The maximum species diversity for genera *Bolitophila*, *Trichonta* and *Mycetophila* is observed in the third decade of May, *Exechia* – in the first decade of May, *Phronia* – in late June. Flying with two periods of activity is characteristic of typical inhabitants of fungi fruiting bodies at the beginning and end of the season, with a mandatory gap between them not less than one month. For species growing on wood-destroying fungi mycelium an extended flying period during the season or in its first half is more typical, with a maximum in the warmest decades. Within each genus several strategies of flight activity are observed, the analysis of which makes it possible to identify five types of flight strategies of Sciaroidea:

1. Species with one period of activity in the first half of the season. This type of flight activity is observed in many species of popular genera. In this group species with predominantly short period of flying, from early May to early June, can be identified: the



species of the genera *Bolitophila*, *Exechia*, *Pseudexechia*; and species with a long flight activity with a maximum in the summer months (representatives of *Mycomya*, *Anatella*, *Rymosia*, *Phronia*, *Trichonta* and *Mycetophila*). 2. Species with two short periods of activity – at the beginning and end of the season, with a gap between them not less than two months. This type of seasonal dynamics is most evident among a number of representatives of the genera *Bolitophila* and *Exechia*. 3. Species with two long periods of activity – at the beginning and end of the season, with a mandatory gap between them that is usually not less than one month. This type of activity is typical first of all for the representatives of the inhabitants of the fruiting bodies of fungi, especially the genus *Mycetophila*, as well as *Phronia*. The peculiarity of these fungus gnats is that the spring activity peak is more or less pronounced and occurs at the end of May and June; however, the maximum number is reached in the second half of the season and is associated with fungi fruiting. Decline usually occurs in the middle of summer: the second and third decade of July and early August. 4. The species flying throughout the summer season from mid-May till September. During this period several generations may change. This group includes many species of *Phronia*, *Trichonta* and *Mycetophila*. 5. The species active exceptionally in autumn, flying since the second half of August. It is a small group, including 3 species of the genera *Mycetophila* and *Trichonta*, as well as such species as *Exechiopsis davatchii*, *Exechiopsis seducta*, *Exechiopsis indecisa*, *Pseudexechia trivittata*, *Rymosia affinis*, *Boletina gripha*, *Allodia ornatocollis*. Thus, in West Siberian coniferous subtaiga five types of fungus gnats' flying strategy can be identified, while in the mid-taiga subzone of Karelia four types are distinguished, and in the mountain-taiga landscapes in the central part of the Kuznetsky Alatau only three types. In the Kuznetsky Alatau with its short summers and heavy rainfall, there are no species having two peaks of activity. In Karelia, with a cold and rainy summer, there is not a sharp decline in activity of adults in mid-season, which is characteristic of most species of subtaiga fungus gnats. Thus, it is shown that the strategies of flight activity of local faunas Sciaroidea reflect the characteristics of the landscape and climate conditions of a particular region.

**Keywords:** coniferous subtaiga, Western Siberia, Sciaroidea, fungus gnats, ecology, phenology.

## References

- [1] Ostroverkhova G.P. *Mitsetofiloidnye komary (Diptera, Mycetophiloidea) Sibiri* [Mycetophilidae (Diptera, Mycetophiloidea) of Siberia]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1979. 305 p. (In Russian).
- [2] Maksimova Yu.V., Subbotina E.Yu. New species of *Mycetophila* Meig. (Diptera, Mycetophilidae) from Western Siberia. *Evraziatskiy entomologicheskiy zhurnal – Euroasian Entomological Journal*, 2010, no. 9(4), p. 668670. (In Russian).
- [3] Subbotina E.Yu. *Gribnye komary (Diptera, Sciaroidea) podtaygi Zapadnoy Sibiri* [Mycetophilidae (Diptera, Sciaroidea) of the subboreal forests in Western Siberia]. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 156 p. (In Russian).
- [4] Subbotina E.Yu., Maksimova Yu.V. Novye i maloizvestnye vidy gribnykh komarov (Diptera, Mycetophilidae) iz Zapadnoy Sibiri [New and littleknown species of fungus gnats (Diptera, Mycetophilidae) from Western Siberia]. *Evraziatskiy entomologicheskiy zhurnal – Euroasian Entomological Journal*, 2011, issue 10, no. 3, p. 213216. (In Russian).
- [5] Subbotina E., Kurina O. Notes on the collection of fungus gnats left by the late Prof. Galina Petrovna Ostroverkhova with a new specific synonymy in the genus *Mycetophila* Meigen (Diptera: Mycetophilidae). *Zootaxa*, 2012, vol. 3590, p. 8688.
- [6] Yakovlev E.B. *Plodonoshenie gribov i sezonnaya aktivnost' dvukrylykh nasekomykh v sosnovykh i osinovykh molodnyakakh* [Fruiting of fungi and seasonal activity of Diptera in pine and aspen underbush]. Petrozavodsk: Karelian Branch of USSR AS, 1988. 66 p. (In Russian).

- [7] Hutson A.M., Acrkland D.M., Kidd L.N. Mycetophilidae (Bolitophilinae, Dytomiinae, Diadocidiinae, Keroplatinae, Sciophilinae and Manotinae). Diptera, Nematocera. *Handbooks for the Identification of British Insects*, 1980, vol. 9, no. 3, p. 1111.
- [8] Russell-Smith A. A study of fungus flies (Diptera, Mycetophilidae) in beech woodland. *Ecological Entomology*, 1979, vol. 4, p. 355364. DOI: 10.1111/j.13652311.1979.tb00595.x
- [9] Maximova Yu.V. New species of fungus gnats (Diptera: Mycetophilidae) from Siberia. *International Journal of Dipterological Research*, 2001, vol. 12, no. 3, p. 137140.
- [10] Maximova, Yu.V. An additional list of the fungus gnats (Diptera, Sciaroidea, excluding Sciaridae) from Kuznetsk Alatau Mountains. *International Journal of Dipterological Research*, 2002, vol. 13, no. 3, p. 191199.
- [11] Zaitzev A.I., Maximova Yu.V. The Palaearctic species of subgenus *NotoLOpha* Tuomik. (Diptera, Mycetophilidae). *International Journal of Dipterological Research*, 2000, vol. 11, no. 4, p. 173179.
- [12] Trifonova L.I. *Klimat* [Climate]. In: Zemtsov A.A. (ed.) *Geografiya Tomskoy oblasti* [The geography of Tomsk Region]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1988, p. 4276. (In Russian).
- [13] Yakovlev E.B., Polevoy A.V. *K fauna dlinnousykh dvukrylykh (Diptera, Nematocera) zapovednika "Kivach"* [On the fauna of the longhorned flies (Diptera, Nematocera) in the reserve "Kivach"]. In: *Flora i fauna okhranyaemykh prirodnnykh territoriy Karelii* [Flora and fauna of the preserved areas in Karelia]. Petrozavodsk, 1997, p. 729. (In Russian).
- [14] Zaytsev A.I. *Gribnye komary fauny Rossii i sopredel'nykh regionov* [Fungus gnats in Russia and adjacent regions]. Moscow: Nauka Publ., 1994. 288 p. (In Russian).
- [15] Maksimova Yu.V. *Gribnye komary (Diptera, Sciaroidea, excluding Sciaridae) Kuznetskogo Alatau*: dis. kand. biol. nauk [Mycetophilidae (Diptera, Sciaroidea, excluding Sciaridae) of the Kuznetsk Alatau. Biology Cand. Diss.]. Tomsk, 2005. 235 p. (In Russian).
- [16] Väisänen R. A monograph of the genus *Mycomya* Rondani in the Holarctic region (Diptera, Mycetophilidae). *Acta Zoologica Fennica*, 1984, vol. 177, 346 p.
- [17] Polevoy A.V. *Gribnye komary (Diptera: Bolitoplilidae, Ditomyiidae, Keroplatidae, Diadocidiidae, Mycetophilidae) Karelii* [Mycetophilidae (Diptera: Bolitoplilidae, Ditomyiidae, Keroplatidae, Diadocidiidae, Mycetophilidae) of Karelia]. Petrozavodsk: Karelia scientific Centre RAN Publ., 2000. 84 p. (In Russian).
- [18] Krivosheina N.P., Zaytsev A.I., Yakovlev E.B. *Nasekomye — razrushiteli gribov v lesakh Evropeyskoy chasti SSSR* [Insects as fungi destructors in the forests of the European part of the USSR]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 307 p. (In Russian).
- [19] Milovidova L.S., Ostroverkhova G.P., Tolstova N.Yu., Bogatyreva L.A. *Ob izuchennosti resursov shlyapochnykh gribov* [On the study of pileate fungi]. In: *Prodovol'stvennaya baza Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Food base of Siberia and the Far East]. Novosibirsk, 1980, p. 106110. (In Russian).
- [20] Subbotina E.Yu. Microclimatic conditions influence on fungus gnats (Diptera, Sciaroidea, excl. Sciaridae) territorial distribution. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta — Tomsk State University Journal*, 2010, no. 339, p. 178181. (In Russian).
- [21] Plotnikova G.P. *S"edobnye griby Tomskoy oblasti i vredyashchie im nasekomye. Zametki po faune i flore* [Edible mushrooms of Tomsk region and insects that destruct them. Notes on the fauna and flora]. Tomsk: Tomsk State University Publ., 1966, issue 19, p. 5357. (In Russian).
- [22] Maksimova Yu.V. The features of the Mycetophilidae phenology (Diptera, Sciaroidea, excl. Sciarida) under the Kuznetsk Alatau. *Tezisy dokladov XII s"ezda Russkogo entomologicheskogo obshchestva* [Abstracts of the 12th Congress of Russian Entomological Society]. St. Petersburg, 2002, p. 225226. (In Russian).

УДК 577.3:/630.1

## Обобщение параметров природных систем: примеры, теория, правила

А.А. Коновалов

Институт проблем освоения Севера СО РАН (Тюмень, Россия)

Предложен способ выявления количественных связей между наблюдаемыми параметрами природных систем по их обобщенным (нормализованным) величинам. При этом нормализованные величины представляются двумя отношениями: 1) разницы между текущим и минимальным значениями к разнице между максимумом и минимумом и 2) разницы между максимальным и текущим значениями к той же разнице между максимумом и минимумом. С их помощью все множество переменных заключается в наглядно представимый интервал 0...1 или 1...0. Это сокращает объем фактических данных, необходимый для установления количественных связей между ними, позволяет корректно сравнивать разнородные величины и делает решение универсальным для большого класса задач. Сумма этих отношений равна единице, причем каждое слагаемое может увеличиваться (или уменьшаться) только за счет уменьшения (или увеличения) другого. Таким образом, это типичная дихотомия, воплощающая в себе закон единства и борьбы противоположностей, которая может служить образом (моделью) любой двухкомпонентной системы. Показано, что в большинстве случаев для установления закономерностей развития любой системы достаточно рассматривать взаимодействие только двух основных, наиболее влиятельных, входящих в нее групп. Например: древесной и травянистой растительности (а не отдельных растений из их состава), леса и степи, суши и моря, тепла и холода т.п. Геометрической интерпретацией двухкомпонентной системы может служить единичный отрезок, состоящий из двух частей: большей — доминанты ( $\phi$ ) и меньшей — субдоминанты ( $1 - \phi$ ). Равновесие и максимальная устойчивость такой модели достигаются при делении отрезка в *золотом сечении*, при котором соблюдается пропорция между целым и его двумя частями, при этом  $\phi = 0,618... \approx 0,62$ . Но единичный отрезок можно разделить на части и по множеству ( $q$ ) других сечений. Найдено выражение  $\phi$  в общем случае, когда  $0 < q < \infty$ . Оно имеет вид  $\phi^n + \phi = 1$ , где  $n = q + 1$ ;  $n$  — количество частиц в системе;  $q$  — число сечений. Корни этого уравнения при разных целых  $n$  составляют последовательность обобщенных золотых сечений (ОЗС). Это наиболее распространенные соотношения компонентов во многих системах мира, в том числе биологических, обеспечивающее согласованность их взаимодействия (гармонию), устойчивость и длительное существование [1, 2]. В статье доказано, что закономерности ОЗС актуальны не только при целых, но и дробных  $n$ . Целые  $n$  соответствуют правильным геометрическим формам (плоскости, кубу...). Дробные — фракталам с их сложными,

ветвящимися формами, типом древесной кроны, речных систем, кровеносных сосудов и т.п. С увеличением  $n$  растёт и количество разделительных линий — границ, являющихся концентраторами напряжений. Эти места (экотоны, береговая и снеговая линии, межсезонья — весна и осень (утро и вечер), границы государств и этносов, фронт и т.п.) наиболее чувствительны к изменениям внешней среды и в наибольшей степени подвержены деформациям. Т.е. это участки системы с наименьшей устойчивостью и большей вероятностью разрушения. Обнаружена связь ОЗС с относительной долговечностью твердых тел, в частности мерзлых грунтов и льда, а через нее — с глобальными факторами. Установлены и количественно оценены связи между параметрами различных природных систем — биологических, климатических, криогенных и др. В частности, найдены формулы зависимости диаметра ствола дерева и его продуктивности от возраста, массы древесной зелени — от диаметра ствола. Показан преимущественно полиномиальный, или степенной, характер этих связей, причем численные коэффициенты расчетных формул близки к пропорциям золотого сечения. Приведены примеры использования предлагаемой методики, свидетельствующие о хорошей сходимости расчетных и фактических данных. Предлагаемая методика является мощным мультидисциплинарным (синтетическим) средством обобщения и выявления общего в разных природных системах.

*Ключевые слова:* природные системы, обобщение, устойчивость, продукция, климат, древесные растения, ствол, масса зелени, золотое сечение.

## Введение

Одним из эффективных способов обобщения результатов наблюдений за природными объектами, широко используемыми, например, в технических науках, является их нормализация, т.е. приведение к относительному (безразмерному) виду:

$$\varphi = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (1)$$

$$\varphi_c = 1 - \varphi = (x - x_{\max}) / (x_{\min} - x_{\max}), \quad (2)$$

где  $x$ ,  $x_{\max}$  и  $x_{\min}$  — текущее, максимальное и минимальное размерные значения наблюдаемого параметра, причем часто  $x_{\min} \approx 0$ ;  $\varphi$  и  $\varphi_c$  — его относительные величины.

При переходе к размерным величинам обе формулы дают одинаковые результаты.

С помощью (1) или (2) все множество переменных заключается в наглядно представимый интервал 0...1 или 1...0. Это сокращает объем фактических данных, необходимый для установления количественных связей между ними, позволяет корректно сравнивать разнородные величины и делает решение универсальным для большого класса задач.

Цель исследования — разработать методику обобщения результатов наблюдений за биологическими и другими системами с использованием формул (1) или (2) и продемонстрировать ее возможности.

«При изучении наук примеры полезнее правил» (И. Ньютон [3]). В соответствии с этой максимой доказательная база предлагаемой методики в основном опирается на примеры ее реализации и их анализ. Рассмотрен, главным образом,

количественный аспект проблемы. Подбор примеров и расчеты выполнены автором, фактические данные (в размерном виде) взяты из литературы. Для единообразия все относительные параметры обозначены как  $j$ , а их специфика отражена нижним символом ( $j_d$ ,  $j_m$  и т.п.). Графический вид связей параметров систем, их аппроксимации и достоверность (коэффициент детерминации)  $R_2$  определены с помощью программы Excel.

### Дихотомическая природа систем

Сумма  $\varphi + \varphi_c = 1$ , причем каждое слагаемое может увеличиваться (или уменьшаться) только за счет уменьшения (или увеличения) другого. Это типичная дихотомия, воплощающая в себе закон единства и борьбы противоположностей, которая может служить образом (моделью) любой двухкомпонентной системы. В большинстве случаев для установления закономерностей развития любой системы достаточно рассматривать взаимодействие только двух основных, наиболее влиятельных, входящих в нее групп. Например: древесной и травянистой растительности (а не отдельных растений из их состава), леса и степи, суши и моря, тепла и холода, порядка и хаоса, «левых» и «правых» партий и т.п. Геометрической интерпретацией двухкомпонентной системы может служить единичный отрезок, состоящий из двух частей: большей – доминанты  $\varphi$  и меньшей – субдоминанты  $\varphi_c = 1 - \varphi$ . Равновесие и максимальная устойчивость такой модели достигаются при делении отрезка в золотом сечении [4], при котором соблюдается пропорция между целым и его частями:

$$1/\varphi = \varphi / (1 - \varphi). \quad (3)$$

Откуда

$$\varphi^2 + \varphi - 1 = 0. \quad (4)$$

Положительный корень квадратного уравнения (4)  $\varphi = -0,5 + (0,25 + 1)0,5 = 0,61803... \approx 0,62$ , или его обратная величина  $1,61803... \approx 1,62$ , называется золотым сечением (ЗС). Это наиболее распространенное соотношение компонентов во многих системах мира, обеспечивающее согласованность их взаимодействия (гармонию), устойчивость и длительное существование [4, 1, 2].

Единичный отрезок можно разделить на части и по множеству ( $q$ ) других сечений. Найдем выражение пропорциональности его частей для общего случая, когда  $0 < q < \infty$ :

$$(1/\varphi)^q = \varphi / (1 - \varphi). \quad (5)$$

Откуда

$$\varphi^{q+1} + \varphi - 1 = \varphi^n + \varphi - 1 = 0, \quad (6)$$

а

$$q = \ln [\varphi / (1 - \varphi)] / \ln (1/\varphi). \quad (7)$$

При  $q = 1$  выражения (5) и (6) превращаются в (4).

Величине  $n = q + 1$  логично придать смысл общего количества частиц в системе, а  $q$  – количества частиц только в субдоминанте, которое равно числу делений (сечений) отрезка.

Значения  $\varphi = \varphi_n$ , характеризующие соотношение доминанты и субдоминанты, при разных целых  $n \geq 1$ , — обобщенные золотые сечения, приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1. Значения  $\varphi_n$  при разных целых  $n$ 

$n$	$\varphi_n$	$n$	$\varphi_n$	$n$	$\varphi_n$	$n$	$\varphi_n$	$n$	$\varphi_n$	$n$	$\varphi_n$
1	0,5	4	0,7245	8	0,8117	11	0,8444	16	0,8773	20	0,8939
2	0,6180	5	0,7549	9	0,8243	12	0,8526	17	0,8819	23	0,9034
3	0,6823	6	0,7781	10	0,8351	14	0,8662	18	0,8862	27	0,9134

Любая система представляет собой иерархию меньших частиц, последовательно входящих в большие, по типу *русских матрешек*. Показатель степени  $n$  в (6) отражает также мерность системы. При  $n = 0$  системы не существует; это состояние беспорядка, хаоса, когда частицы не связаны друг с другом, существуют сами по себе. При  $n = 1$  формула (6) *одномерна*; при  $n = 2$  — *двухмерна*; при  $n = 3$  — *трехмерна* и т.д. В реальных природных системах взаимодействие частиц очень сложно и лишь приближенно следует теории. Поэтому отношение субдоминанты к доминанте хотя и близко к золотым сечениям, особенно к  $\varphi_2 = 0,62$ , но все же отличается от него, соответствуя не целым, а дробным  $n$ . Целые  $n$  соответствуют правильным геометрическим формам (плоскости, кубу...). Дробные — фракталам с их сложными, ветвящимися формами, типом древесной кроны, системой кровеносных сосудов и т.п. Анализ показывает, что свойствами ОЗС, или фрактальностью, подобием частиц и целого, обладают все числа от 0 до  $\infty$ , включая, конечно, и дроби. Любую дихотомию, т.е. систему, существующую по закону единства и противостояния ее компонентов, можно трактовать как ОЗС (или фрактал). Причем  $n = 1$  является центром своеобразной симметрии этой последовательности: значения  $\varphi_n$  в области  $n < 1$  равны  $(1 - \varphi_n)$  для  $1/n$  в области  $n > 1$ . Например, величины  $\varphi_n$  для  $n = 0,5$ ; 0,33 и 0,25 равны соответственно  $0,38 = 1 - \varphi_2$ ;  $0,32 = 1 - \varphi_3$  и  $0,28 = 1 - \varphi_4$ .

Пространство между  $(1 - \varphi_n)$  и  $\varphi_n$  на куполообразном графике «жизненного» цикла системы, включающем «молодость» (подъем), «зрелость» и «старость» (спад), — это стадия зрелости, характеризующаяся постоянной и минимальной за весь цикл скоростью деформации, а значит, и большей устойчивостью. Живые системы на этой стадии обладают репродуктивной способностью [5].

С увеличением  $n$  растет и количество разделительных линий — границ, являющихся концентраторами напряжений. Эти места (экотоны, береговая и снеговая линии, межсезонья — весна и осень (утро и вечер), границы государств и этносов, фронт и т.п.) наиболее чувствительны к изменениям внешней среды и в наибольшей степени подвержены деформациям, т.е. это участки системы с наименьшей устойчивостью и большей вероятностью разрушения.

### О природе устойчивости, прочности и деформации систем

Чем меньше частиц (компонентов) в системе, тем меньше границ между ними и больше прочность и устойчивость. Поэтому обратная величина числа частиц в системе  $1/n = Z$ , изменяющаяся от 1 до 0, может служить мерой устойчивости системы.

Устойчивости или упорядоченности противостоит неустойчивость, или неупорядоченность, хаос:  $X = 1 - Z$ . Очевидно, что максимум устойчивости  $Z = 1$  и отсутствие хаоса  $X = 0$  достигаются при  $n = 1$ , но в этом случае в подсистеме

нет субъектов самоорганизации (гармонизации) — отдельных, свободных частиц. В результате этого утрачивается некая “квазиживая” сила, обеспечивающая способность системы к самоорганизации, под которой понимается согласованное (гармоническое) взаимодействие ее частиц, включающее самовосстановление параметров системы после неразрушительной деформации [6, 5]. В механике аналогом этой силы является упругость, характеризующаяся модулем Юнга, равным напряжению, при котором линейный размер тела увеличивается вдвое [7]. Т.е. для развития нужна определенная доля хаоса, оптимум достигается при  $X = Z = 0,5$ .

Обнаружена связь ОЗС с относительной долговечностью твердых тел, в частности мерзлых грунтов и льда [6, 5], а посредством нее с глобальными факторами:

$$(\tau_3 / \tau)^{j_{пл}} = \mathcal{E} = (P / P_m), \quad (8)$$

где  $P$  — давление на мерзлое тело;  $P_m$  — максимальное давление, которое это тело может выдержать в течение элементарного времени;  $\tau_3$  — минимальный (элементарный) отрезок времени, принимаемый в данном опыте (в пределе  $\tau_3 \approx 10\text{--}13$  с — период тепловых колебаний атома);  $\tau$  — долговечность (время до разрушения);  $j_{пл} = 0,083$  — предельная деформация, равная относительному уменьшению объема льда при плавлении, совпадающая с частотой месячных оборотов Земли в годовом цикле ( $1/12 = 0,083$ ;  $30^\circ/360^\circ = 0,083$ ).

Таблица 2. Значения  $\varphi_n$ ,  $D = \ln(\tau_3 / \tau)$  и  $\mathcal{E} = (\tau_3 / \tau)^{0,083} = (P/P_m)$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\varphi_n$	<b>0,5</b>	<b>0,618</b>	<b>0,682</b>	<b>0,724</b>	<b>0,755</b>	<b>0,778</b>	<b>0,796</b>	<b>0,812</b>	<b>0,824</b>	<b>0,835</b>	<b>0,844</b>
$\tau_3 / \tau$	4380	365	91	46	30	23	18	15	13	11	10
D	8,38	5,9	4,51	3,83	3,4	3,14	2,89	2,71	2,56	2,4	2,3
$\mathcal{E}$	<b>0,497</b>	<b>0,613</b>	<b>0,687</b>	<b>0,728</b>	<b>0,753</b>	<b>0,771</b>	<b>0,79</b>	<b>0,800</b>	<b>0,810</b>	<b>0,820</b>	<b>0,846</b>

В табл. 2 приведены: значения первых одиннадцати ОЗС, относительной долговечности  $\tau_3 / \tau$  и прочности  $(\tau_3 / \tau)^{0,083} = \mathcal{E}$ , рассчитанные по формуле (8). Величины  $\tau_3 / \tau$  представлены последовательностью, первый член которой равен 4380, второй в 12 раз меньше — 365, а начиная с третьего:  $365/4,1 = 91$ ;  $365/4,2 = 46$ ;  $365/4,3 = 30$ ;  $365/4,4 = 23$  и т.д. Ее инвариантом является четверть орбиты вращательных циклов Земли, примерно  $90^\circ$ , совпадающая с длительностью основных фаз вращения (весна, лето, осень, зима или утро, день, вечер, ночь). Эти числа совпадают с обыденными календарными отрезками года (полугодием, кварталом, месяцем и т.п.). Например, если принять  $\tau_3 = 1$  час, то эти числа, до 6-го включительно, примерно соответствуют количеству часов в полугодии, в полумесяце, в полунеделе, в четверти недели и в сутках. При  $\tau_3 = 1$  сутки эти же числа (4380, 365, 91...) соответствуют количеству суток: в 12 (11) годах (это примерно цикл солнечной активности Вольфа), в году, в квартале, в половине квартала, в месяце и в четверти квартала.

Как видно из табл. 2, разница между величинами ОЗС и  $\mathcal{E}$  составляет сотые доли процента. Так как границы между частицами тела являясь концентраторами напряжений и вакансиями разрушения, то увеличение их числа (увеличение  $n$ ) сопровождается уменьшением прочности  $P/P_m$  и долговечности  $\tau_3 / \tau$ , как это и следует из табл. 2. Таким образом, странное, на первый взгляд, совпадение ОЗС с относительной прочностью мерзлого тела  $\mathcal{E} = (P/P_m)$  получает вполне материалистическое объяснение.



### Проявление ОЗС при оценке состояний

Проблеме ОЗС посвящена обширная литература, сводка которой с многочисленными примерами соответствия параметров различных систем закономерностям «золотых» сечений имеется, например, в работах [1, 2, 8–11]. Причем везде речь идет о соотношении параметров, описываемых простыми полиномами (4) или, реже, (6). Рассматриваются только отдельные, обычно конечные (предельные), состояния, а не весь процесс развития. Приведем некоторые примеры такого рода, касающиеся биологических систем и климата.

1. Вода конденсируется из пара при его остывании ниже  $100^{\circ}\text{C}$  и переходит в лед при  $0^{\circ}\text{C}$ . «Путь» до достижения минимальной теплоемкости — плюс  $37^{\circ}\text{C}$  (эта температура близка к температуре тела всех высших животных), при которой активность метаболизма максимальна, составляет  $100 - 37 = 63^{\circ}$ . Соотношения  $63/100 = 0,63$  и  $37/100 = 0,37$  примерно равны константам ЗС.

2. При высоких давлениях (до 220 МПа) обычная вода не замерзает до минус  $22^{\circ}\text{C}$  [5]. Расстояние на температурной шкале между температурами максимальной ( $37^{\circ}$ ) и минимальной ( $-22^{\circ}$ ) активности равно 59. Температура  $0^{\circ}$  делит это расстояние на две части:  $22/59 = 0,37$  и  $37/59 = 0,63$ .

3. На рис. 1 показана зависимость фитопродукции  $P_r$  от радиационного баланса  $B$  и индекса сухости  $J$  [5]. Величина  $J = B/UL$  ( $U$  — годовая сумма осадков;  $L = 0,6$  ккал/см<sup>3</sup> — скрытая теплота парообразования), выражает соотношение тепла и влаги, поступающих из атмосферы на поверхность Земли. При всех  $B$  максимум  $P_r$  приходится не на  $J = 1$ , при котором достигается равновесие между этими параметрами, а на  $J \approx 0,62$ . Дело в том, что для органической жизни значимо не количество осадков, а валовое увлажнение территории ( $w$ ), равное сумме испарения  $g$  и подземного стока  $f_p$ . Эта величина близка к сумме осадков за теплый период года  $U_t$ , а не за весь год [12]. Например, в Западной Сибири от тундры до средней тайги включительно  $U_t \approx 115$  см, а  $w \approx 105$  см;  $U_t$  примерно в 1,4–1,6 раза меньше годовой суммы осадков  $U$ . Если в выражение  $J$  вместо  $U$  подставить  $U_t$ , то и получится  $J = 1$ .

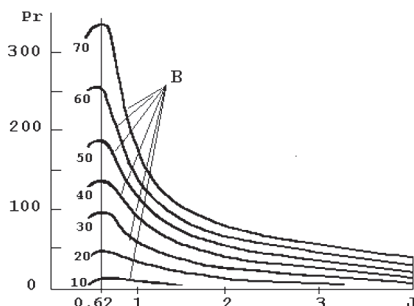


Рис. 1. Зависимость фитопродукции  $P_r$ , т/(га · год) от радиационного баланса  $B$  (ккал/см<sup>2</sup> · год) и индекса сухости  $J$  (доли единицы)

4. Среднеширотная температура воздуха равна  $16^{\circ}\text{C}$  [13]; изолиния этой температуры проходит примерно по  $35^{\circ}$  с.ш., которая делит угловое расстояние между экватором и северным полюсом на две части: 0,39 и 0,61.

5. Пропорция распределения основных статей расхода воды, поступающей на сушу из атмосферы: осадки 73 см, полный сток 26 см, испарение 47 см [12], также близка к величине ЗС:  $47/73 = 0,64$ ;  $26/73 = 0,36$ .

### Проявление ОЗС в природных процессах

Этот вариант проявления ОЗС касается описания совокупностей состояний (процессов) с монотонно изменяющимися параметрами, когда константы ОЗС –  $\phi$  и  $\phi_c$  – принимают значения коэффициентов – множителей при А и В в уравнении (6):

$$j_y = A \cdot j_x^2 + B \cdot j_x, \approx A \cdot j_x^2 + (1-A) \cdot j_x, \quad (9)$$

где  $j_y$  и  $j_x$  – относительные значения размерных величин функции  $y$  и аргумента  $x$ , определяемые по формулам, аналогичным (1) или (2), в которых вместо  $\phi$  фигурируют  $j_y$  или  $j_x$ .

Для ускоряющихся процессов, развивающихся по вогнутой кривой,  $A \approx -\phi_n$ ; для затухающих, развивающихся по выпуклой кривой,  $-A \approx \phi_n$ ; в обоих случаях  $B \approx 1 - A$ . В предельном состоянии, когда  $j_y = j_x = 1$ , формула (9) превращается в формулу золотого сечения (4).

Другими авторами этот вариант проявления ОЗС не рассматривался. Продemonстрируем его выполнение, правила использования и аналитические возможности.

1. Годовой цикл температуры воздуха в умеренном и холодном поясах включает в себя теплый и холодный полуциклы, разделенные весенним и осенним нулями ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Таблица 3. Значения  $\tau$ ,  $t$ ,  $j_t$ ,  $j_l$  в Тобольске (слева) и Нумто (курсив, справа) на подъеме (верх таблицы) и спаде (низ) в теплое время года

$\tau$	3,75	4	5	6	7	4,95	5	6	7
$t$	0	1,8	9,1	15,8	18	<i>0</i>	<i>0,2</i>	<i>10,5</i>	<i>15,5</i>
$j_t$	0	0,08	0,38	0,69	1	<i>0</i>	<i>0,02</i>	<i>0,51</i>	<i>1</i>
$j_l$	0	0,07	0,51	0,88	1	<i>0</i>	<i>0,01</i>	<i>0,68</i>	<i>1</i>
$\tau$	7	8	9	10	10,3	7	8	9	9,8
$t$	18	15,4	9,5	0,8	0	<i>15,5</i>	<i>12,4</i>	<i>6,4</i>	<i>0</i>
$j_t$	0	0,30	0,61	0,91	1	<i>0</i>	<i>0,36</i>	<i>0,71</i>	<i>1</i>
$j_l$	0	0,14	0,47	0,91	1	<i>0</i>	<i>0,20</i>	<i>0,59</i>	<i>1</i>

В табл. 3 приведены значения размерных  $t$  и безразмерных  $j_t$  среднемесячных температур воздуха в первой половине теплого полуцикла (на подъеме) и в его второй половине (спаде), а также времени, размерного  $\tau$  (месяцы от начала года) и безразмерного  $j_t$  на юге (Тобольск) и севере (п. Нумто) Тюменской области по данным метеослужбы. Безразмерные параметры вычислены по формуле (1). Отметим, что теплый период (около 6 месяцев в Нумто и 7,5 месяцев в Тобольске) соотносится с длительностью года ( $6/12 = 0,5$  и  $7,5/12 \approx 0,62$ ) как 1-й и 2-й члены ОЗС (отсюда и большая жизненная активность в Тобольске).

По данным табл. 3 построены графики зависимости  $j_t$  от  $j_l$  и найдены их аппроксимации (рис. 2), подтверждающие близость коэффициентов А и В к константам ЗС.

2. На рис. 3 приведены примеры зависимости относительного диаметра  $j_d$  от относительного возраста  $j_t = \tau/\tau_{\max}$  ( $\tau$  – текущее время, годы;  $\tau_{\max}$  – возраст дерева) в двух возможных формах кривой этой зависимости: вогнутой и выпуклой. Первая представлена теневыносливой пихтой на Аляске, вторая – теплолюбивой сосной на севере (п. Нумто) и юге (п. Караганда) Тюменской области [14]. Величины

безразмерного диаметра отложены на оси ординат, безразмерного времени — на оси абсцисс, размерного времени — на верхней горизонтальной оси. Начало отсчета на графиках А, Б и В — 1578, 1579 и 1770 гг. соответственно. Кривыми показан многолетний ход  $j_d$  по наблюдениям — толстые линии, и формулы его аппроксимации — тонкие линии, кружки — расчет по формуле (9) при  $A = 0,62$  для вогнутой кривой и  $A = -0,62$  для выпуклой. Хотя численные коэффициенты в формулах на рис. 4 несколько отличаются от констант ЗС, на величину  $j_d$  это практически не влияет.

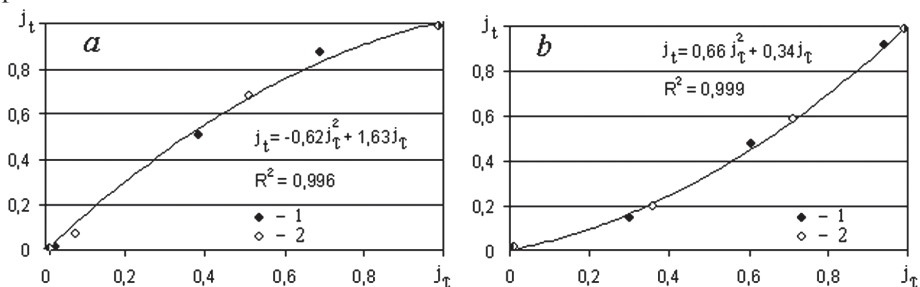


Рис. 2. Зависимость  $j_t$  от  $j_\tau$  в Тобольске (1) и Нумто (2) на подъеме (а) и спаде (b) в теплое время года

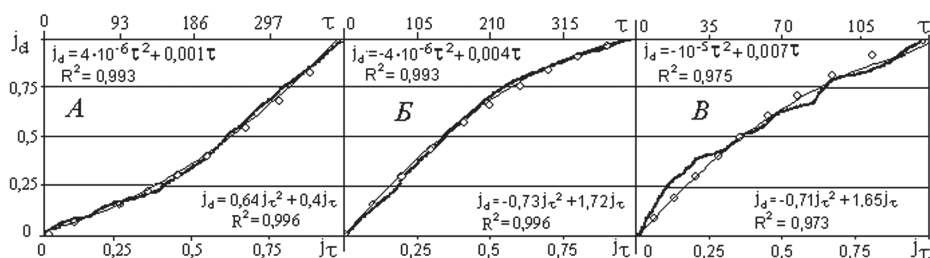


Рис. 3. Зависимость  $j_d$  от  $j_\tau$  для пихты на Аляске (А), сосны в Нумто (Б) и Караганде (В)

Расчеты показали, что полиномиальную формулу (9) с приемлемой погрешностью можно заменить степенной:

$$j_y = j_x^z \quad (10)$$

с показателем степени  $z$ , равным  $\varphi_n$  для выпуклых кривых и  $1 + \varphi_n$  — для вогнутых.

Степенные формулы сводятся к линейным общего вида  $Y' = z X'$ , где  $Y' = \ln(y)$ ,  $X' = \ln(x)$ . Поэтому, несмотря на меньшую точность, по сравнению с полиномиальными, они удобней для расчетов и экономичней, поскольку для определения неизвестного  $z$  нужно знать всего одну любую пару соответственных размерных значений  $y$  и  $x$ , тогда  $z = \ln(y) / \ln(x)$ . Кроме того, в биологических системах связи между компонентами чаще всего описываются именно степенными функциями.

Особенно хорошо сходятся результаты счета по формулам (9) и (10) у вогнутых кривых. Это видно из табл. 4, в которой приведены результаты вычислений по этим формулам, представленным нормализованными функциями  $j_y(j_x)$ ; максимальная погрешность степенного приближения  $< 10\%$ . У выпуклых кривых разница между расчетами по полиномиальным и степенным формулам больше, при  $n = 7$  (точка максимальной разницы) она равна  $22\%$ .

Таблица 4. Зависимость  $j_y$  от  $j_x$  в полиномиальных (п) и степенных (с) формулах при  $n$ , равных 0; 2; 7 и  $\infty$  для вогнутых кривых

$j_x$	$j_{y,п(0)}$	$j_{y,с(0)}$	$j_{y,п(2)}$	$j_{y,с(2)}$	$j_{y,п(7)}$	$j_{y,с(7)}$	$j_{y,п(\infty)}$	$j_{y,с(\infty)}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,2	0,2	0,1	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04
0,4	0,4	0,4	0,25	0,23	0,21	0,19	0,16	0,16
0,6	0,6	0,6	0,45	0,44	0,41	0,4	0,36	0,36
0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,67	0,67	0,64	0,64
1	1	1	1	1	1	1	1	1

В то же время выражения выпуклых кривых – это обратные выражения вогнутых. И ничто не препятствует выпуклую кривую превратить в вогнутую, поменяв местами оси  $x$  и  $y$  (см. ниже пример 5).

3. В [15] установлен количественный вид зависимости массы ( $m$ ) древесной зелени (хвои и неодеревеневших побегов) и отдельно хвои сосны (*Pinus Sylvestris*) от ее диаметра ( $d$ ) в северной и средней тайге на территории Коми. Это весьма репрезентативное исследование, базирующееся на обобщении сотен определений характеристик деревьев. Для выражения результатов в размерном виде его авторам понадобилось более десятка формул. Предлагаемый здесь метод позволяет обобщить весь этот обширный материал одной формулой: (9) или (10).

Максимальные и минимальные значения размерных параметров [15], необходимые для расчетов по формуле (1), сведены в табл. 5.

Таблица 5. Максимальные и минимальные величины диаметра ствола –  $d_{max}$ ,  $d_{min}$  (см), массы зелени ( $z$ ) и хвои ( $x$ ) сосны –  $m_{max}$ ,  $m_{min}$  (кг/дерево)

Подзона	$d_{min}$	$m_{min}$	$d_{max}(z)$	$m_{max}(z)$	$d_{max}(x)$	$m_{max}(x)$
Северная тайга	0	0	40	91	40	63
Средняя тайга	0	0	40	76	40	46

На рис. 4 показаны построенные по этим данным графики зависимости безразмерной массы древесной зелени и хвои  $j_m = m/m_{max}$  сосны от безразмерного диаметра ствола  $j_d = d/d_{max}$  в северной и средней тайге и найдены их аппроксимации.

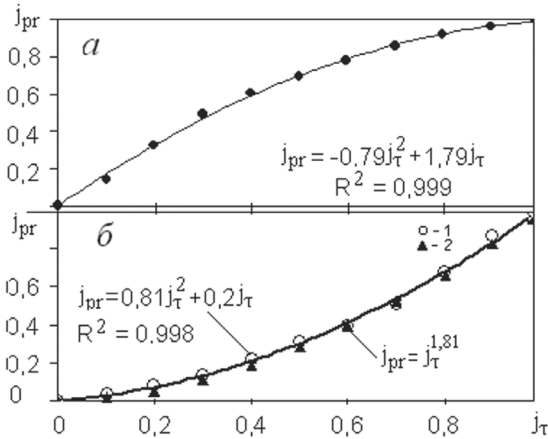


Рис. 4. Графики и формулы зависимости  $j_m$  от  $j_d$

Экспериментальные точки на рис. 4 при всех вариантах условий почти сливаются. Численные коэффициенты формул близки к константам ЗС.

Графики на рис. 4 или его формулы можно использовать для приближенного определения обобщенной массы древесной зелени хвойных деревьев в пределах всей таежной зоны. Порода дерева и условия произрастания отражаются в величинах соответственных пар  $d_{\max}$  и  $m_{\max}$ .

4. В [16] исследована зависимость продукции (Pr) сосняка от возраста ( $\tau$ ) в Приангарье. Размерные максимумы этих параметров:  $Pr = 8,6\%$ ,  $\tau = 115$  лет, минимумы:  $Pr = 0,8\%$ ,  $\tau = 15$  лет. Безразмерные значения  $j_\tau$  и  $j_{pr}$  на рис. 5, а рассчитаны по формуле (1), а на рис. 5, б – по формуле (2).

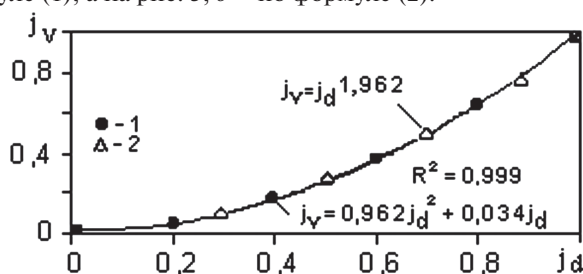


Рис. 5. Графики и формулы зависимости  $j_{pr}$  от  $j_\tau$

При этом выпуклая кривая на рис. 5, а превращается в вогнутую, при описании которой полиномиальная и степенная формулы дают близкие результаты.

В приведенных примерах численные коэффициенты аппроксимаций близки к константам ЗС. Но в общем это не обязательно. Каждая система представляет собой сложную, многоуровневую иерархию взаимодействующих частиц и каждому уровню  $n$  соответствует своя идеальная пропорция, свое золотое сечение  $\phi_n$  (см. примеры 5 и 6).

5. На рис. 6 дан график зависимости относительного объема ствола  $j_v$  распространенных деревьев (сосны, ели, березы и осины) от относительного диаметра  $j_d$  в Ленинградской области. Размерные величины этих показателей взяты из [10]. Предварительно установлено, что подобные графики для деревьев каждой из этих пород практически сливаются. Графики аппроксимированы формулами (9) и (10). Как видим, они совпадают.

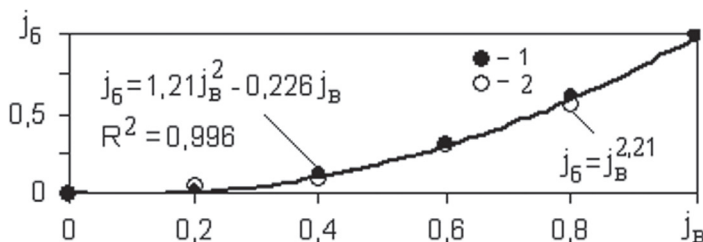


Рис. 6. Зависимость  $j_v$  от  $j_d$

Коэффициенты полиномиальной формулы в сумме равны  $0,962 + 0,034 \approx 1$ , степенной –  $z = A + 1 = 1,962$ , т.е. являются константами ОЗС.

6. В [17] исследована зависимость заболеваний деменцией (болезнь Альцгеймера) пожилых людей 67–92 лет от возраста. Количество заболевших менялось

с возрастом от 3 000 до 69 000 человеко-лет. По формуле (1) определены относительные числа больных  $j_6$  и их возраста  $j_в$ , построен график функции  $j_6(j_в)$  и найдены его аппроксимации, отвечающие параметрам ОЗС (рис. 7).

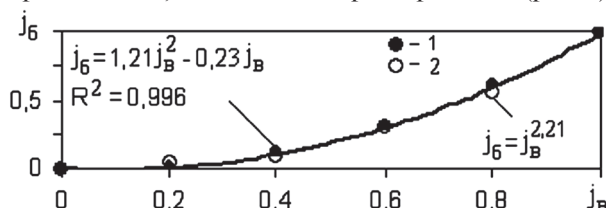


Рис. 7. График зависимости  $j_6$  от  $j_в$  и его полиномиальная аппроксимация (1) и расчет по степенной формуле (2)

В этом и других примерах фигурируют безразмерные (абстрактные) числа, лишенные всякой индивидуальности, и ничто не запрещает их сравнивать и производить с ними математические действия. Тем не менее искать реальные связи между генетически разными системами следует только при условии, что таковые обнаружены на качественном (физическом) уровне, у их размерных аналогов. Иначе получается абсурд. Так, из формального сравнения графиков на рис. 3 и 7, ординаты которых в обоих случаях зависят от возраста, и вполне законного преобразования их формул можно получить выражение связи заболеваний деменцией с толщиной древесных колец, что маловероятно. Другое дело, например, сопоставление климатических и дендрохронологических характеристик, связь между размерными показателями которых доказана и лежит в основе реконструкции климатов прошлого [18]. При выявлении связей параметров одной системы подобных сложностей не возникает.

## Заключение

Формулы взаимосвязей параметров природных систем, выраженных в относительных величинах, в большинстве случаев имеют полиномиальный или степенной вид, а их численные коэффициенты равны константам ОЗС. Таким образом, можно говорить об универсальности предлагаемых моделей и достаточно общих закономерностях устойчивых взаимосвязей параметров природных систем, проявляющихся через ОЗС. Приведенные примеры показывают, что предлагаемая методика является мощным мультидисциплинарным инструментом для обобщения и выявления общего в разных природных системах.

## Литература

- [1] Сороко Э.М. Структурная гармония систем // Минск : Наука и техника, 1984. 265 с.
- [2] Стахов А.П. Коды золотой пропорции. М. : Радио и связь, 1984. 52 с.
- [3] Ньютон Исаак // Афоризмы, цитаты, высказывания со всего мира. URL: <http://aphorism-citation.ru/index/0104> (дата обращения: 20.02.2014).
- [4] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М. : Наука, 1980. 975 с.
- [5] Коновалов А. А. Деформационная модель развития экогеосистем // Новосибирск : Гео, 2011. 146 с.
- [6] Коновалов А.А. О деформации и разрушении мерзлых грунтов // Криология Земли. 2002. № 4. С. 54–62.
- [7] Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М. : Наука, 1974. 255 с.
- [8] Коновалов А.А. Золотое сечение как показатель устойчивости взаимосвязей компонентов систем // Современные аспекты математики гармонии и ее применение в экономике, есте-

- ствознании, технологии, социуме и образовании. Одесса : Институт креативных технологий, 2011. С. 257–265.
- [9] Ландшейдт Т. Космическая функция золотого сечения. URL: <http://astrologic.ru/library/golden.htm> (дата обращения: 15.02.2014).
- [10] Ледеява А.С. Обоснование оптимального раскрытия хлыстов методом линейного программирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2007. 29 с.
- [11] Скляревский Е. Божественные пропорции золотого сечения // I:\Zolotoe\_sechenie2.htm
- [12] Физикогеографический атлас мира. Л. : Гидрометеиздат, 1964. 275 с.
- [13] Будыко М.И. Климат и жизнь. М. : Гидрометеиздат, 1971. 475 с.
- [14] Арефьев С.П., Коновалов А.А. О деформационной модели радиального прироста древесных растений // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 56–64.
- [15] Бобкова К.С., Тужилина В.В. и др. Ресурсная характеристика древесной зелени *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в лесах северо-востока Европейской России // Растительные ресурсы. Т. 44, вып. 1. 2008. С. 51–59.
- [16] Артемьева А.В., Бузыкин А.И. и др. Оценка продуктивности древостоя // Факторы продуктивности леса. Новосибирск : Наука, 1989. С. 129–146.
- [17] Bermejo-Pareja F., Benito-León J., Vega S. et al. Incidence and subtypes of dementia in three elderly populations of central Spain // J. Neurol. Sci. 2008. Vol. 264. P. 63–72.
- [18] Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свищерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск : Наука, 1985. 102 с.

---

## Сведения об авторах

**Коновалов Александр Александрович** — доктор технических наук, кандидат географических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии, математического моделирования и ГИС-технологий Института проблем освоения Севера СО РАН (г. Тюмень, Россия). E-mail: konov7@rambler.ru

## About

**Alexandr A. Kononov** — Dr, Institute of Problems of Development of the North of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Malygina st. 86, 625026, Tyumen, Russia. E-mail: konov7@rambler.ru

---

### A.A. Kononov

Institute of North development issues, SB RAS, Tyumen, Russia

### Generalization of natural system parameters: examples, theory and rules

A method is proposed to determine quantitative relationships between observed parameters of natural systems basing on their generalized (normalized) values. The normalized values are presented by two relations: 1) the difference between the current and minimum values to the difference between the maximum and the minimum, and 2) the difference between the maximum and current values to the same difference between the maximum and the minimum. With their help, the whole set of variables is clearly representable within the range of 0...1 or 1...0. This reduces the amount of factual data required to establish quantitative relationships between them, and makes it possible to correctly compare the diverse values, which makes the solution universal for a large class of tasks. The sum of these relations is one, and each component can increase (or decrease) only due to a decrease (or increase) in the other. This is a typical dichotomy, embodying the law of unity and struggle of opposites, which can serve as a model of any two-component system. It is shown that in most cases establishing the laws of any system development is sufficient to consider the interaction between only its two major and most influential



groups, for example, woody and herbaceous vegetation (but not individual plants from their composition), forests and steppes, land and sea, heat and cold, etc. Geometric interpretation of a two-component system can serve as a single segment consisting of two parts: a larger one – dominant ( $\varphi$ ), and a smaller one – subdominant ( $1 - \varphi$ ). Balance and maximum sustainability of this model are achieved through the division of a line segment in the golden section, the proportion between the whole and its two parts maintained, with  $\varphi = 0,618... \approx 0,62$ . But a single segment can be divided into parts according to the multitude ( $q$ ) of other sections as well. The expression  $\varphi$  is found in the general case when  $0 < q < \infty$ . It is  $\varphi^n + \varphi = 1$ , where  $n = q + 1$ ,  $n$  – number of particles in the system,  $q$  – the number of sections. The roots of this equation for different integers  $n$  are a sequence of the generalized golden sections (GGS). They are the most common ratios of components in many systems of the world, including biological ones ensuring the consistency of their interaction (harmony), sustainability and long existence [1, 2]. The article shows that the patterns of GGS are relevant not only with whole but also with fractional  $n$ . The integers correspond to the correct geometrical forms (plane, cube, etc.). Fractional – to fractals with their complex branching forms of a tree crown type, river systems, blood vessels, etc. Together with the increase in  $n$  the number of dividing lines borders, which stress concentrators, is also growing. These places (ecotones, coastal and snow line, off-season – spring and autumn (morning and evening), borders and ethnic groups, frontier and the like) are most sensitive to changes in the external environment and most exposed to deformation. These system sections are the ones with the least resistance, and more likely to fracture. A correlation was found between GGS and relative durability of solids, frozen soils and ice in particular, and through it with global factors. The relationships between parameters of different natural systems – biological, climatic, cryogenic are established and quantified. Particularly, the formula of dependence of the diameter of a tree trunk and its productivity on age, weight wood greenery – on trunk diameter. Primarily polynomial or exponential nature of these relationships is shown with numerical coefficients of calculation formulas close to the proportions of the golden section. The examples of using the proposed method, indicating a good convergence of estimates and actual data, are given. The proposed method is a powerful multi-disciplinary (synthetic) means of generalization and identification of the common in different natural systems.

**Keywords:** natural system, generalization, stability, products, climate, woody plants, trunk, lots of greenery, golden section.

## References

- [1] Soroko E.M. *Strukturnaya garmoniya sistem* [The structural harmony of systems]. Minsk: Nauka i tekhnika Publ., 1984. 265 p. (In Russian).
- [2] Stakhov A.P. *Kody zolotoy proporsii* [Codes of the golden ratio]. Moscow: Radio i svyaz' Publ., 1984. 52 p. (in Russian).
- [3] N'yuton Isaak [Aphorisms, quotes, sayings. Isaac Newton]. Available at: <http://aphorismcitation.ru/index/0104>. (Accessed: 20th February 2014) (In Russian).
- [4] Bronstein I.N., Semendyaev K.A. *Spravochnik po matematike* [A Handbook of Mathematics]. Moscow: Nauka Publ., 1980. 975 p. (In Russian).
- [5] Konovalov A.A. *Deformatsionnaya model' razvitiya ekogeosistem* [The deformation model of the eco-geosystem development]. Novosibirsk: Geo Publ., 2011. 146 p. (In Russian).
- [6] Konovalov A.A. O deformatsii i razrushenii merzlykh gruntov [Deformation and fracture of frozen grounds]. *Kriologiya Zemli*, 2002, no. 4, pp. 5462. (In Russian).
- [7] Koshkin N.I., Shirkevich M.G. *Spravochnik po elementarnoy fizike* [A Handbook of Elementary Physics]. Moscow: Nauka Publ., 1974. 255 p. (In Russian).
- [8] Konovalov A.A. *Zolotoe sechenie kak pokazatel' ustoychivosti vzaimosvyazey komponentov sistem* [The golden section as an indicator of the stability of the relationship system components]. In: *Sovremen-*

*nye aspekty matematiki harmonii i ee primeneniye v ekonomike, estestvoznanii, tekhnologii, sotsiume i obrazovanii* [Modern aspects of mathematics of harmony and its application in economics, science, technology, society and education]. Odessa: Institute of Creative Technologies Publ., 2011, p. 257-265. (In Russian).

- [9] Landsheidt T. *Kosmicheskaya funktsiya zolotogo secheniya* [The space function of the golden section]. Available at: <http://astrologic.ru/library/golden.htm>. (Accessed: 15th February 2014 (In Russian)).
- [10] Ledyayeva A.S. *Obosnovaniye optimal'nogo raskroya khlystov metodom lineynogo programmirovaniya*: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Justification of the optimal cutting of the whips by linear programming. Abstract of Engineering Cand. Diss.]. St. Petersburg, 2007. 29 p. (In Russian).
- [11] Sklyarevskiy E. *Bozhestvennyye proporsii zolotogo secheniya* [The divine proportions of the golden section]. Available at: [i:\zolotoe\\_sechenie2.html](http://i:\zolotoe_sechenie2.html) (In Russian).
- [12] *Fizikogeograficheskiy atlas mira* [The Physiographical Atlas of the World]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1964. 275 p. (In Russian).
- [13] Budyko M.I. *Klimat i zhizn'* [Climate and life]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1971. 475 p. (In Russian).
- [14] Aref'ev S.P., Kononov A.A. On the deformation model of woody plants radial growth. *Vestnik Tyumenskogo gosuniversiteta – Tyumen State University Herald*, 2012, no. 12, p. 5664 (In Russian).
- [15] Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. et al. Resursnaya kharakteristika drevesnoy zeleni *Pinus sylvestris* (Pinaceae) v lesakh severovostoka evropeyskoy Rossii [The resource characteristics of wood greens *Pinus sylvestris* (Pinaceae) in the forests of the northeast European Russia]. *Rastitel'nye resursy*, 2008, vol. 44, issue 1, p. 5159 (In Russian).
- [16] Artem'eva, A.V., Buzykin, A.I. et al. *Otsenka produktivnosti drevostoya* [Evaluation of the forest stand productivity]. In: Elagin I.N. (ed.) *Faktory produktivnosti lesa* [Factors of the forest stand productivity]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1989, p. 129146 (In Russian).
- [17] Bermejo Pareja F., BenitoLeón J., Vega S. et al. Incidence and subtypes of dementia in three elderly populations of central Spain. *Journal of Neurological Sciences*, 2008, vol. 264, p. 6372. DOI: 10.1016/j.jns.2007.07.021.
- [18] Vaganov E.A., Shashkin A.V., Sviderskaya I.V., Vysotskaya L.G. *Gistometricheskii analiz rosta drevesnykh rasteniy* [Gistometry of the growth of woody plants]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985. 102 p. (In Russian).

УДК 91:55.506+551.509

## **The role of climatic risks in erosion advancing in the south of Tomsk region**

**T.V. Romashova**

Tomsk State University (Tomsk, Russia)

The aim of our research was the studying of dangerous meteorological phenomena that created situations for an active erosion advancing in the south of Tomsk region in 1967–2012, where there are more than 70% of population of the region, main agricultural lands and industrial sites. The boundaries of the natural seasons in the south of the Tomsk Region were determined by the methodology of Galakhov and Rutkovskaya. The preconditions for the development of water and wind erosion in each phase of the year and five phases with the most active development of erosion were identified. The analysis of climatic conditions of all structural units of the year helped to allocate 39 erosion threatening factors for water erosion and 16 for wind erosion. A model of climate's erosive potential was worked out. It was set that south areas of the Tomsk Region differ in the level of potential risk of erosion. Due to the research it is possible to take measures for protection the soil, which should be local considering seasonal rhythms of climate.

*Keywords:* natural seasons, weather and climatic risks, water and blowing erosion.

### **Foreword**

Climatic risks are indefiniteness which is connected with a possibility of origin of unfavorable situations and consequences in the future that are influenced by meteorological phenomena.

There are more then 30 types of hazardous natural phenomenona (HNP) in Russia [1], but 50–70% of general damage of all HNP are severed by weather activity [2, 3]. The biggest quantity of hazardous phenomena from all Federal Districts is in Siberian Federal District [4]. There is almost no detailed analyse of HNP – wind, incessant rains, low and high temperatures – in the Tomsk region. In this connection, the research of HNP is actual for the south of the Tomsk region (Tomskiy, Kozhevnikovskiy, Shegarskiy, Bakcharskiy, Asinovskiy, Pervomayskiy districts), where there are more than 70% of population of the region, main agricultural lands and industrial sites.

### **Dates and methods of the research**

One of the main and the first step of risk management is a monitoring of possible risk events. Therefore, the aim of our research was the studying of dangerous meteorological phenomena that created situations for an active erosion advancing in the south of the Tomsk region in 1967–2012 (Tomskiy, Kozhevnikovskiy, Shegarskiy, Bakcharskiy, Asinovskiy, Pervomayskiy districts) [5].

The foundation of our research was comprehensive genetic method of climate study of N.N. Galakhov and N.V. Rutkovskaya [6, 7]. The starting of calendar climatic and natural seasons of the year does not coincide (Table 1).

Table 1. Comparison of time fences of astronomical calendar, and natural seasons

The name		The date of season starting		
season of year	phase of year	astronomical	calendar	natural*
Winter	moderate frosty winter	22 December	1 December	2–5 November
	considerably frosty winter	—	—	13–19 December
	prespring	—	—	12–22 March
Spring	snow thawing	21 March	1 March	16–20 March
	postwinter	—	—	14–20 April
	before a summer	—	—	25–30 April
Summer	moderate and tepid summer	22 June	1 June	16–23 May
	moderate and warm summer	—	—	11–13 June
	recession of a summer	—	—	14–22 August
Autumn	formation of an autumn	23 September	1 September	9–15 September
	end of an autumn	—	—	29 September – 2 October
	before a winter	—	—	19–22 October

\* It was made by weather station of the south of Tomsk region

The essence of the complex genetic method consists of data mining and analysis of features of chronological daily course of leading climatic factors with simultaneous analysis of the dynamics of phenological occurrences in certain parts of the earth's surface. If a detection of diurnal rhythm does not cause problems seasonal and annual rhythms in its calendar boundaries will not usually coincide with real course of development of natural processes. Accordingly, it is necessary to take into consideration the seasonal rhythmicity for fixation of connection of annual dynamics of erosion process and climate. It will facilitate to study everything in details and to estimate the soil erosion.

We identified the structure of annual cycle that means complex of successive parts of the year. During these parts heat and moisture indexes gradually change. It follows with changing of development of geosystems and it is cyclical. These parts of the year are called structural units and it divides into three degrees (Table 1):

- Structural units of the first degree are cold snow (CSPY) and vegetative parts of a year (VPY);

- The second degree – seasons of a year: winter, spring, summer and autumn. They have different duration every year, and its starting and ending do not coincide with starting and ending of calendar months;

- The third degree – phases. There are 12 phases: 5 – in CSPY, 7 – in VPY [7].

The features were calculated for every structural unit of the year: sums of average daily air temperatures, average air temperatures, sums of precipitation, average amount of precipitation, middle layer of precipitation, amount of days with precipitation; for VPY: quantity of incessant rains, general and average layer of water for incessant rains, average and maximum speed of a wind; for CSPY: average and maximum height of snow cover, average and maximum deep freezing of soil.

## Results and discussion, conclusion

The analysis of climatic conditions of all structural units of the year helped to allocate 39 erosion threatening factors for water erosion and 16 for wind erosion. However, there was no simultaneous demonstration of these factors in 1967–2012. The biggest quantity of features for water erosion was in 1995/96 and 2005/2006 and for wind – in 1981 and 2010 [5, 8].

Combination of indicators of dangerous erosion influences on intensity of development of soil erosion. It helps to devise the model of erosional potential of a climate [5]. The reliability of this model was verified in Luchanovo's permanent study area. Our research led to the following conclusions.

The erosion advancing in the south of Tomsk region observes annually. An intensity of erosion relies on thermal and wind mode and moisture security.

There are favorable conditions for developing of water and wind erosion but not in the same time. It is necessary to consider that erosional processes of different genesis closely linked – washed-away soils are more exposed by wind erosion than unwashed-away soils and vice versa.

There are not any soils that are not absolutely influenced by erosion in the south or the Tomsk Region. Moistening of soils is the main climatical factor of erosion advancing.

Preconditions for water and wind erosion advancing are created during the whole year but the most active phases for it are «snow thawing», «postwinter», «before a summer», «moderate and tepid summer», «moderate and warm summer». Moreover, water and wind erosion advancing are made by different combinations of hydrothermaical conditions of these phases.

The most potential of erosional danger is typical for Tomskiy, Asinovskiy, Pervomayskiy; average – for Kozhevnikovskiy and Shegarskiy; the lowest – for Bakcharskiy district of the south of the Tomsk region. In this connection, an activity of protection of soils should be local considering seasonal rhythms of climate.

To sum up, if we know climate changing we can forecast erosion advancing and we can also work out an algorithm of weather and climatic risk management.

## References

- [1] *Atlas of natural and technological hazards and disaster risk in the Russian Federation* / Ed. SK Shoigu. Moscow. Information. Cartography, 2005 (In Russian).
- [2] *Strategic forecast of climate changes in Russia in 2010–2015, and their influence on economic sectors*. Moscow. Roshydromet. 2005. 30 p. (In Russian).
- [3] *Bedritsky A.I. and Korshunov A. and Khandozhko L.A. and Shaimardanov M.Z.* Climate system and life support in Russia // *Meteorology and Hydrology*. 2004. 4, p. 120–129 (In Russian).
- [4] *Shahramanyan M.A. and Akimov V.A. and Kozlov K.* Evaluation of natural and man-triggered Russian Security: Theory and Practice. Moscow Institute of Civil Defense, 1998. 217 p. (In Russian).
- [5] *Romashova T.V.* Seasonal rhythms of climate and their influence on soil erosion advancing (south of Tomsk region): Dis ... Candidate. Geography. Science. Tomsk, 2004. 239 p. (In Russian).
- [6] *Galakhov N.N.* Studying of the structure of climatic seasons of a year. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1959. 213 p. (In Russian).
- [7] *Rutkovskaya N.V.* Climatic characteristics of seasons of Tomsk region. Tomsk: Tomsk State University. 1979. 116 p.
- [8] *Spragovskaya D. and Romashova T.V.* An analysis of hydrothermal regimen of subtaiga of Tomsk region in terms of the seasonal rhythmic of climate // *Труды Томского государственного университета*. 2012. 283, p. 94–96 (In Russian).

## About

**Romashova Tatiana** – PhD in Geography, Associate Professor of Geography in Tomsk State University. E-mail: romtvtom@rambler.ru

UDK 551.583

## **Interrelation of spatial changes of climatic characteristics and vegetative cover structure in Western Siberia based on space images**

**V.P. Dneprovskaya, Yu.M. Polishchuk**

Institute of Petroleum Chemistry, SB RAS (Tomsk, Russia)

The paper concerns interrelations of parameters for climatic status and spatial structure of vegetative cover in Western Siberia. The spatial structure of the vegetation cover of territory is determined on the basis of analysis of middle resolution space images. The analysis of the climatic status is carried out using data received at 99 weather stations of Western Siberia during the period of some decades from 1955 year. It is shown that the increase of space-averaged yearly temperature is accompanied by the decrease of dark-coniferous forests areas and by the growth of areas of small-leaved forests and bogs.

*Keywords:* climatic status, vegetative cover, remote sensing, geoinformation systems, Western Siberia.

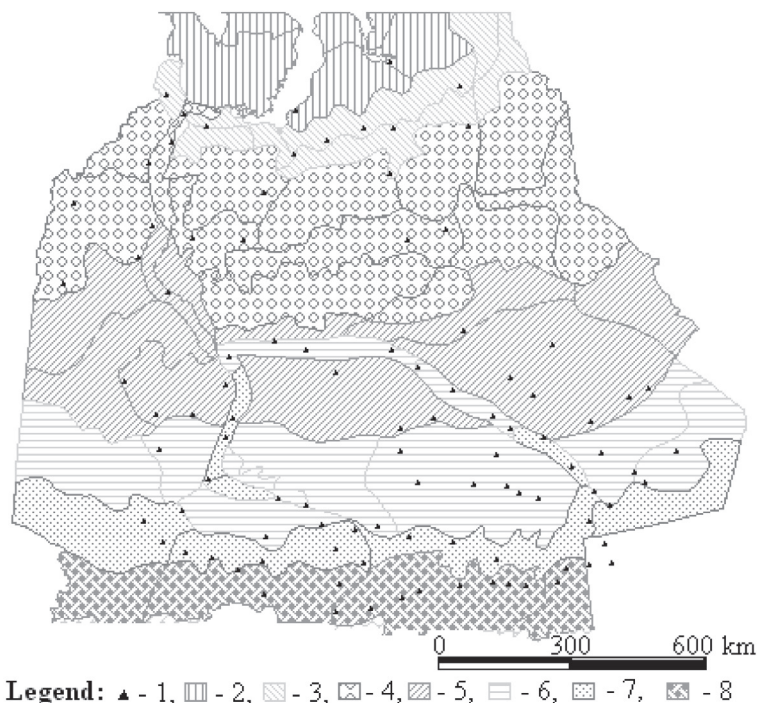
### **Introduction**

Global warming in recent decades [1] has generated a need to study different consequences of climatic changes. Therefore one of the important problems of research in Northern Eurasia is revealing the interrelation of temporary changes of vegetation cover structure depending on climatic changes. The long duration of temporary changes of vegetation makes such studies difficult and very long-lasting. Therefore, the dependence of climatic and geobotanical changes can be studied as a relationship between changes in the spatial structure of the vegetation cover and spatial changes in climate parameters in the territory. The object of study was chosen the territory of the West-Siberian plain within six administrative formations, i.e. Jamal-Nenets and Khanty-Mansiysk autonomous okrugs and Tomsk, Omsk and Novosibirsk regions (oblasts) and the southern part of the Tyumen oblast. The aim of this paper is to study the changes of spatial structure of vegetative cover in the West-Siberian territory depending on the spatial change of climatic parameters, using remote sensing data.

### **Methods**

The West-Siberian plain has geobotanical zonation according to geographical latitude: subarctic tundra, sparse growth of trees, taiga and forest-steppe. It is important to notice that the taiga zone has four subzones: northern, middle and southern ones and subtaiga. Fig. 1 shows the map of geobotanical zonation of territory. Black triangles designate location of weather stations. The northern part of the investigated territory is located in the zone of subarctic tundra and sparse growth of trees. The central part is in the taiga zone. And the southern part of West-Siberian territory is in the forest-steppe zone.

Hydrometeorological data received at 99 weather stations in Western Siberia have been used to study spatial and temporal changes of climatic state. Temporal dependencies of average yearly values of air temperature, relative yearly quantity of atmospheric precipitation and maximum annual values of snow cover parameters (its height, density and stocks of water) were defined for each geobotanical zone.



**Legend:** ▲ - 1, ▨ - 2, ▩ - 3, ▤ - 4, ▥ - 5, ▦ - 6, ▧ - 7, ▨ - 8

Fig. 1. Map of geobotanical zonation of West-Siberian territory. Symbols: 1 – weather stations, 2 – subarctic tundra, 3 – sparse growth of trees, 4 – northern taiga, 5 – middle taiga, 6 – southern taiga, 7 – subtaiga, 8 – forest-steppe

We used middle resolution space images from Russian satellite Resources-O1-3 (scanner MSU-SK) to determine the spatial structure of vegetative cover. These space images have the spatial resolution of about 150 m in a 600 km strip of the investigated site. The images from the MSU-SK scanner were received in spectral channels of the visible range and the near infrared zone. Vegetation cover structure was determined using the synthesized images. Coniferous and small-leaved forests are distinctly determined in the space images owing to differences of spectral brightness. Light-coniferous (pine) and dark-coniferous forests were separated by classification analysis using the «teachers» obtained on the base of forest management data [2, 3].

Space images were processed by means of the ERDAS Imagine software. Then the data were exported to the format supported by the software of geoinformation system ArcGIS 9.3. We used the ArcGIS system to determine relative areas of each landscape structural unit. To solve this problem, it is necessary to take into account spatial properties of the objects under study [4]. It allows one to use additional spatial information, which can be used within the frames of geoinformation approach [5] to analyze multidimensional heterogeneous data. This approach requires the use of geoinformation systems



enabling to manipulate the spatial data stored in the form of thematic layers, which are geographically certain relative to digital map-basis.

## Results

### 1. Studying climatic changes in territory of Western Siberia

The analysis of changes in the climatic status of West-Siberian plane has been carried out for the central and the southern parts because these territories are located in taiga zone. The analysis was based on using time dependencies of average annual values of air temperature, quantity of atmospheric precipitation and a stock of water in snow cover. Figs 2 and 3 below present the results of the analysis of climatic changes for the central part (Khanty-Mansyisk autonomous okrug) and the southern part of Western Siberia (Tomsk, Omsk and Novosibirsk oblasts). Every black square spot on the graphs in Fig. 2 and 3 is a result of space-averaging yearly data taken from all weather stations in the corresponding territory.

Fig. 2 shows temporal dependencies of average annual air temperature ( $T$ ). Space-averaged values of  $T$  for two time intervals 1955–1970 and 1975–1992 are shown in Fig. 2 by dashed lines. Confidence intervals for the average values calculated with 90% probability are represented in Fig. 2 by dash-dot lines. As may be seen in Fig. 2, the average value of temperature in the second period has increased approximately  $0.9 - 1^{\circ}\text{C}$  in comparison with the period 1955–1970.

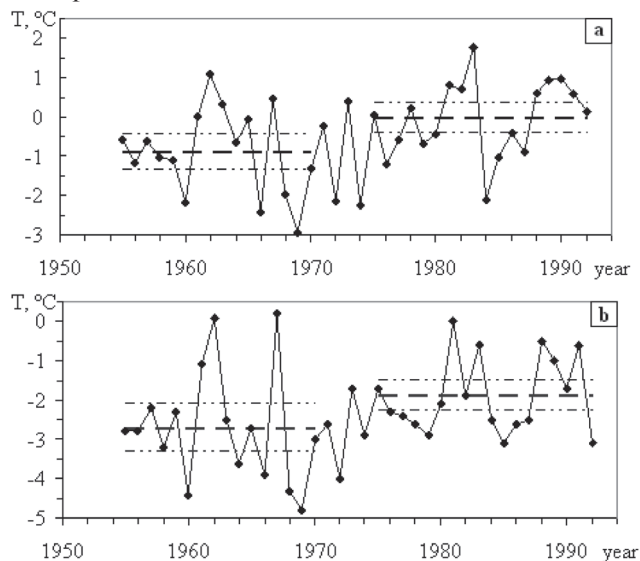


Fig. 2. Temporal dependencies of air temperature in the southern (a) and the central (b) parts of Western Siberia

Temporal dependencies of yearly relative (per month) quantity of atmospheric precipitation ( $Q$ ) and yearly stock of water ( $SW$ ) in a snow cover are shown in fig. 3. Space-averaged values of  $Q$  and  $SW$  and its confidence intervals calculated with 90% probability for two time intervals 1955–1970 and 1975–1992 are shown in fig. 3 by dashed and dash-dot lines accordingly. As fig. 3-a shows, the yearly relative quantity of atmospheric precipitation in the second period in comparison with the period 1955–1970 has increased

approximately 2 %. Change in the volume of water-stock in snow cover for the second period makes 12,8 mm (Fig. 3-b), i.e. the increase in comparison with the first period is 12.4 %. Hence, rise of air temperature is accompanied by growth of water-stock volume in snow cover though the level of atmospheric precipitation changes insignificantly. This shows explicit climatic change in West-Siberian territory. Below are some results of studying interrelations in the parameters of climatic state and spatial structure of vegetative cover in West-Siberian territory.

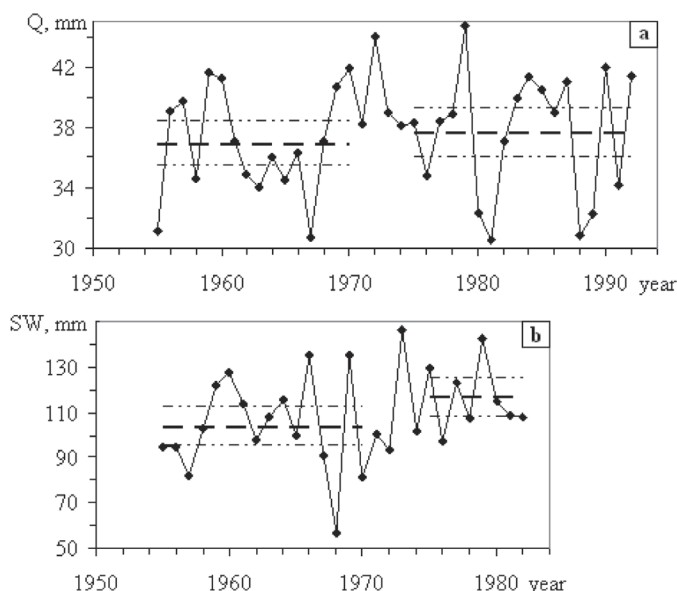


Fig. 3. Temporal dependencies of the yearly relative quantity of atmospheric precipitation (a) and yearly stock of water in a snow cover (b) in a southern part of Western Siberia

## 2. Determination of vegetation structure on the basis of interpretation of space images

Study of vegetative cover structure is carried out using space images of the southeast and the central parts of Western Siberia within Tomsk region and Khanty-Mansyisk autonomous okrug. Fig. 4 presents the map-scheme of landscape zonation in the investigated territory created on the basis of the atlas [6]. Below is a list of landscape provinces, shown in fig. 4:

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 1) Severo-Sosjvinskaya; | 11) Kazymorskaya;     |
| 2) Nadymorskaya;        | 12) Nizhne-Oborskaya; |
| 3) Polujorskaya;        | 13) Sredne-Oborskaya; |
| 4) Belogorskaya;        | 14) Irtyshskaya;      |
| 5) Numtovskaya;         | 15) Alexandrovskaya;  |
| 6) Kondo-Tavdinskaya;   | 16) Vasyuganskaya;    |
| 7) Kondinskaya;         | 17) Ket-Tymorskaya;   |
| 8) Nazym-Lyaminskaya;   | 18) Pojmennaya        |
| 9) Lyamin-Aganskaya;    | 19) Tomskaya;         |
| 10) Yugan-Larjanskaya;  | 20) Chulymskaya.      |

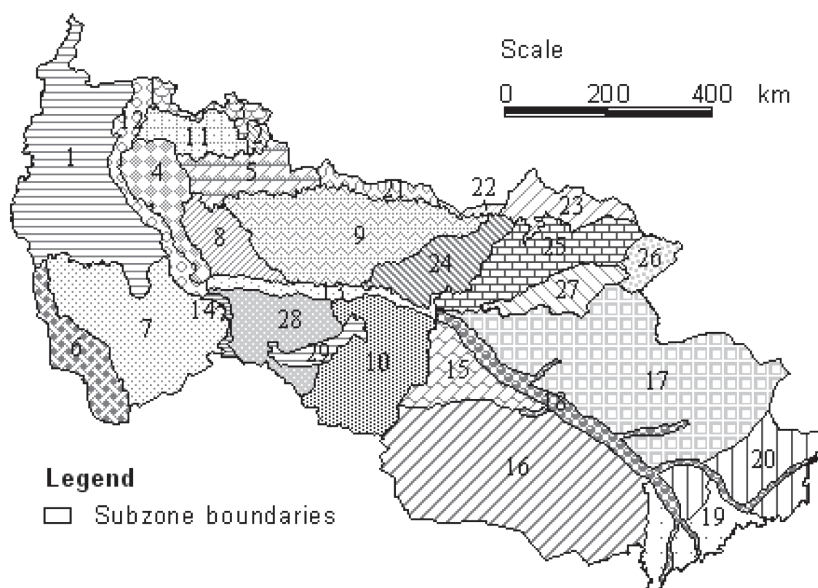


Figure 4. Map of landscape provinces of the central and the southeastern parts of Western Siberia

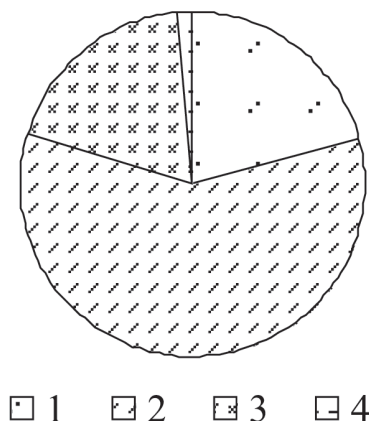


Fig. 5. The relative areas of landscape units of Sredne-Obkskaya landscape province. Symbols: 1 – dark-coniferous forests, 2 – light-coniferous forests, 3 – small-leaved forests, 4 – water-bog lands

As a result of processing middle resolution space images, there have been determined relative areas of landscape structural units related with certain forest type for each landscape province shown in Fig. 4. It is known [4], that four classes of landscape structural units are the most typical for the Siberian taiga zone: dark-coniferous (fir, spruce, cedar), small-leaved (birch, aspen) and light-coniferous (pine, larch) forests and water-bog lands. In our paper, the spatial structure of vegetative cover will be determined by the ratio of relative summarized areas of landscape structural units. For instance, Fig. 5 presents the diagram displaying spatial structure of vegetative cover in the territory of Sredne-Obkskaya landscape province. The diagram shows the prevalence of light-coniferous forests in this landscape province.

### 3. Analysis of interrelation of vegetative cover structure and climatic characteristics

For studying the interrelation between climatic characteristics and vegetative cover structure, a table of climatic parameters and data on relative areas of landscape units for different landscape provinces shown in Fig. 4 has been composed. For illustration, Fig. 6 represents the dependence of the relative areas of dark-coniferous forests (S) on average air temperature (T) for each landscape province. Arabic numerals in fig. 6 correspond to numbers of landscape provinces shown in Fig. 4.

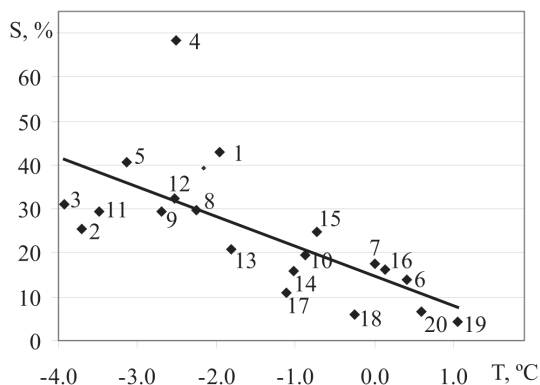


Fig. 6. The relative areas of dark-coniferous forests with respect to air temperatures

Apparently from Fig. 6, increase of average annual temperature in the West-Siberian territory is accompanied by a decreasing share of dark-coniferous forests in the structure of vegetation cover. This dependence is satisfactorily approximated by the equation of a linear trend.

Fig. 7 gives graphs of dependencies of the relative areas of landscape units on different climatic parameters. Lines of the resulting trends in Fig. 7 represent the relative areas of different landscape units depending on climatic parameters. Increase of average air temperature corresponds to moving in direction from the north to the south in Western Siberia. As follows from Fig. 7, the spatial structure of West-Siberian forest-swamp territories essentially depends on climatic status parameters. The areas of dark-coniferous and light-coniferous forests shrink from 35–40 % in the north up to 10–15 % in the south, where birch forests become dominant.

The Fig. 7, *b* shows, that with increase SW, i.e. in a direction from the south to the north, the areas of dark-coniferous and light-coniferous forests increase from 5–12 % in the south up to 35–40 % in the north. The area of small-leaved forests and

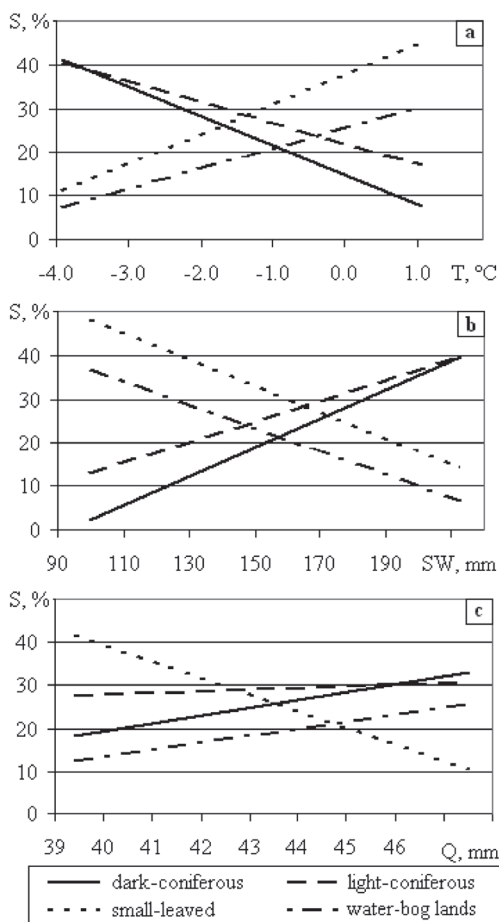


Fig. 7. Interrelations between the relative areas of landscape units and climatic parameters

water-bog lands decreases. Growth in the areas of dark-coniferous forests and boggy territories and shrinking in the areas of small-leaved forests are marked in Fig. 7, c with increasing of the yearly sum of atmospheric precipitation.

## Conclusion

Thus, the result of quantitative analysis carried out let us to establish an explicit interrelation between spatial changes in parameters of the climatic status and spatial structure of vegetative cover in Western Siberia. In particular, the increase of air temperature is accompanied by a shrinking area of dark-coniferous forests and a wider area of small-leaved forests and bogs. The area of dark-coniferous forests, on the contrary, increases and the areas of small-leaved forests and water-bog lands are reduced with a growth in the average value of water-stock in a snow cover. These results can be used to predict changes of geobotanical structure of vegetation cover of Western Siberia in conditions of global warming.

## Acknowledgements

This work is the result of research carried out in the framework of the Russian-French CAR-WET-SIB “Biogeochemical cycle of carbon in wetlands of Western Siberia” GDRI (Groupement de recherche international) project and supported by Centre of Remote Sensing, Ugra Research Institute of Information Technologies and by the grant of the Russian Foundation for Basic Research (project 08-05-92496- NCNIL\_a) and the Megagrant of Russian Federal Programme 14.B25.310001 (BIO-GEO-CLIM).

## References

- [1] Pachauri R.K., Reisinger A. *Climate Change: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*. Geneva, Switzerland. 2007, p. 104.
- [2] Alexeeva M.N., Dyukarev A.G., Polishchuk Y.M., and Pologova N.N. Study of structure of forest-swamp complex of Vasyugan plane using GIS, remote sensing data and ground-truth observations // *Geography and Nature Resources*. 2004. No. 2, p. 71–77 (in Russian).
- [3] Polishchuk Y., Tokareva O., Bulgakova I. Space images processing methodology for assessment of atmosphere pollution impact on forest-swamp territories // *Proceedings of SPIE*. 2003. Vol. 5026, p. 232–236.
- [4] Dneprovskaya V.P., Polishchuk Y.M. *Studying Structure of Vegetative Cover of Territories for Problems Monitoring Influences of Oil Extracting. Presented at the 6<sup>th</sup> International Conference on Oil and Gas Chemistry*, Tomsk, September 5–9, 2006 // ed. Dr R. Min. 2006. V. 2, p. 132–133.
- [5] Polishchuk Yu.M., Peremitina T.O. Geoinformation approach to the analysis of multivariate data on the spatially-distributed objects // *Geoinformatics*. 2003. No. 1, p. 18–21 (in Russian).
- [6] Atlas of Khanty-Mansiysk autonomous okrug // *Nature and Environment* / ed by V.S. Tikunov et al. 2004. Vol. 2. Moscow: Ecoterra, p. 152 (in Russian).

---

## About

**Viktoria P. Dneprovskaya** — PhD, Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. E-mail: vpi@ipc.tsc.ru

**Yury M. Polishchuk** — Dr, Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia. E-mail: yupolishchuk@gmail.com

УДК 574.472, 58.002

## **Анализ соотношения видового и биоморфологического разнообразия некоторых высокогорных фитоценозов Горного Алтая**

**И.В. Волков<sup>1,2</sup>, И.И. Волкова<sup>1</sup>, Е.Ю. Мухтобарова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Томский государственный университет (г. Томск, Россия)

<sup>2</sup>Томский государственный педагогический университет (г. Томск, Россия)

*Исследования выполнены в рамках гранта по Постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. по договору с Министерством образования и науки РФ № 14.*

*B25.31.0001 от 24 июня 2013 г. (BIO-GEO-CLIM).*

Разнообразие жизненных форм в фитоценозе является важным аспектом био-разнообразия. Связь между разнообразием жизненных форм и видовым разнообразием в сообществах растений отражается в относительном биоморфологическом разнообразии, анализу которого на примере высокогорной растительности Республики Алтай посвящена эта статья. С помощью оригинальной системы жизненных форм были проведены сравнительные исследования модельных фитоценозов, относящихся к различным типам высокогорной растительности. Для выборки использовались наиболее типичные фитоценозы и фитоценозы, находящиеся на пределе экологической толерантности для данного типа растительности. Результаты исследования показали, что большинство высокогорных фитоценозов характеризуются сбалансированностью видового и биоморфологического составов. Можно предположить, что данная особенность является адаптивным признаком. Для фитоценозов, произрастающих в наиболее суровых экологических условиях, отмечена тенденция компенсации низкого видового разнообразия разнообразием жизненных форм. Луговые фитоценозы имеют относительно невысокие показатели биоморфологического разнообразия. При этом в ряду «высокотравные субальпийские луга – среднетравные альпийские луга – низкотравные альпийские луга» биоморфологическое разнообразие имеет тенденцию к росту, тогда как рост видового разнообразия тормозится из-за усиления общей суровости среды обитания. Высокотравные субальпийские луга наиболее гумидных районов Алтая характеризуются высокой степенью варьирования показателей видового разнообразия в пространстве при стабильности и невысоком разнообразии жизненных форм. Тундровые фитоценозы, развивающиеся в более суровых условиях, имеют относительно высокое видовое и биоморфологическое разнообразие, что связано с разнообразием стратегий адаптации видов при значительном уменьшении роли доминантов. В некоторых фитоценозах тенденция к относительному увеличению биоморфологического разнообразия связана не с разнообразием биоморф, а с уменьшением видового разнообразия на экологическом пределе произрастания дриадовых тундр и переходом высокотравных

субальпийских лугов в стадию климакса. Варьирование показателей относительного биоморфологического разнообразия в пределах одного типа растительности может свидетельствовать о значительной степени его экологической толерантности.

*Ключевые слова:* относительное биоморфологическое разнообразие; жизненные формы; Горный Алтай.

## Введение

В настоящее время в науке о растительном покрове достаточно хорошо разработаны методы и подходы к изучению видового разнообразия. Геоботаники, имея практическую задачу изучения синтаксономического разнообразия фитоценозов, все меньше обращают внимание на их физиономическую характеристику. Это способствует довольно однобокому восприятию растительного сообщества как некоего набора видов, что отражает лишь один аспект этого сложного природного явления. Другим важным аспектом любого фитоценоза является его биоморфологическое разнообразие. Большинство учёных под термином «жизненная форма» (ЖФ) (синоним «биоморфа») понимают группы растений, сходные по формам и способам приспособления к среде обитания и, создавая классификации ЖФ, по сути, разрабатывают сформулированную еще Е. Вармингом проблему путей и способов приспособления растений к конкретному комплексу эколого-фитоценологических условий [1]. Поэтому адаптивная эволюция фитоценозов определяет не только их видовой состав как отражение соответствия экологических ниш видов растений гиперобъему ниш конкретных местообитаний, но и функциональные роли видов (их экологические стратегии) в фитоценозе, что проявляется, в том числе, в структуре фитоценозов (определяемой набором, размерами и пространственным распределением жизненных форм). Следовательно, видовой состав и биоморфологическое разнообразие фитоценоза — это эволюционно взаимосвязанные аспекты его сущности, и логично искать точки соприкосновения между ними [2].

## Материалы и методики исследования

### *Моделирование соотношения видового и биоморфологического разнообразий*

Относительное биоморфологическое разнообразие (ОБР) отражает количественные соотношения ЖФ и видов в фитоценозах [2]. Однако сам по себе показатель ОБР не представляет особой ценности без знания механизма его образования, так как может быть обусловлен различными соотношениями видового и биоморфологического разнообразий, которые можно отобразить в виде модели, представленной на рис. 1. Если на представленной модели провести медиану из угла С, то в сообществах, располагающихся вдоль нее, будут наблюдаться все возрастающие показатели видового и биоморфологического разнообразия, соотношение которых определяет одинаковые показатели относительного биоморфологического разнообразия. Например, один и тот же показатель ОБР будет у фитоценозов, образованных десятью видами, относящихся к двум биоморфам и двадцатью видами относящихся к четырём биоморфам ( $2/10=4/20$ ).



Таким образом, коэффициент ОБР в этих фитоценозах будет равен 0,2, но он связан с различными количественными показателями биоморф и видов, что можно отразить в формуле  $0,2(2;10)$  и  $0,2(4;20)$  соответственно. Естественно, что в различных фитоценозах, в той или иной мере отстоящих от медианы, логично ожидать различных величин ОБР. Если не считать множество переходных вариаций, то крайними вариантами являются четыре положения, соответствующие углам прямоугольника: угол А — многовидовые, но биоморфологически бедные сообщества (коэффициент ОБР снижается), В — многовидовые и биоморфологически богатые сообщества, D — маловидовые, но биоморфологически разнообразные сообщества (коэффициент ОБР увеличивается) и С — маловидовые и биоморфологически бедные сообщества.



Рис. 1. Модель, показывающая соотношение видового и биоморфологического разнообразия в фитоценозе (пояснения в тексте)

Наиболее вероятной представляется ситуация, когда видовое разнообразие фитоценозов выше их биоморфологического разнообразия (т.е. коэффициент ОБР ниже единицы), но теоретически может наблюдаться и обратная ситуация. К примеру, в фитоценозе представлены два вида, один из которых имеет жизненную форму *a*, а второй за счет биоморфологической изменчивости (или поливариантности) произрастает в жизненных формах *b* и *в*, тогда коэффициент ОБР будет равен 1,5, а соотношение биоморфы/виды —  $3/2$ .

Существенной проблемой биоморфологических исследований является субъективное представление о биоморфологическом разнообразии растений, что связано с отсутствием единых критериев выделения жизненных форм и, соответственно, отсутствием общепринятых систем их классификации. По нашему мнению, для анализа биоморфологического разнообразия фитоценозов необходимо использовать системы ЖФ, максимально полно отражающие основные направления (или тенденции) биоморфологической эволюции растительного покрова, что позволяет уменьшить степень субъективного фактора в исследованиях.

### ***Жизненные формы и тенденции в биоморфологической эволюции высокогорных растений***

В биоморфологической эволюции высокогорных растений можно выделить основные направления, связанные с адаптациями растительных организмов к существованию в специфических условиях высокогорных биомов (рис. 2).

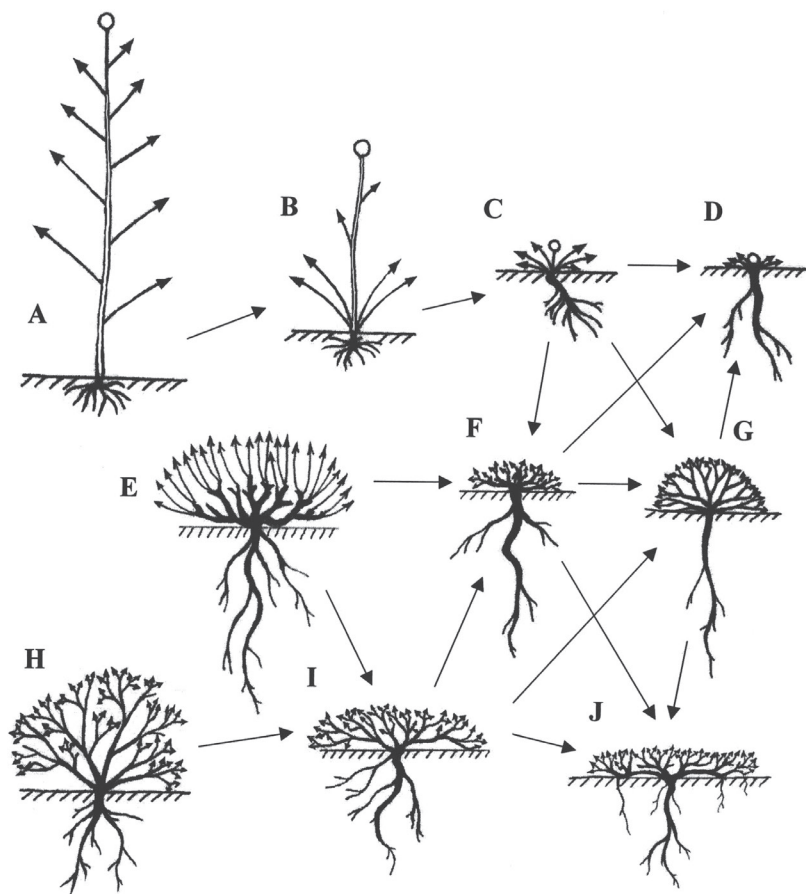


Рис. 2. Схема, показывающая основные эволюционные тенденции трансформации надземных частей цветковых растений в высокогорьях умеренной зоны по мере экстремализации условий обитания с ростом абсолютной высоты: верхний ряд — травянистые растения: *A* — безрозеточное растение субальпийских лугов, *B* — розеточное растение среднетравных альпийских лугов, *C* — розеточное растение низкотравных альпийских лугов и каменистых местообитаний альпийского пояса, *D* — «псевдотравянистое» максимально геофитизированное миниатюрное растение вблизи верхней границы распространения; средний и нижний ряды — древесные растения: *E* — полукустарники, *F* — кустарнички (полукустарнички), *G* — подушковидные растения, *H* — кустарники с оротропными побегами, *I* — нивелированные кустарники горных тундр и водоразделов, *J* — шпалерные ползучие биоморфы верхней части альпийского и субнивального поясов [3]

Существуют следующие тенденции в биоморфологической эволюции высокогорных растений:

— *Миниатюризация* — одна из главных адаптивных черт, связанных с обитанием растений в экстремальных условиях высокогорий и Севера [4]. Смысл миниатюризации в экономии ресурсов растением в условиях крайне ослабленного конкурентного давления со стороны других видов. Кроме того, в верхней части высокогорной зоны миниатюрные растения не могут вырасти из размеров пространственной приземной ниши, в которой могут сохранять положительный углеродный баланс. Надземные части таких растений находятся в более теплом

приземном слое воздуха, где меньше сила ветра, и благодаря небольшим размерам имеют возможность укрываться в нишах между камнями и под снеговым покровом. Небольшие размеры растений предполагают меньшее количество ресурсов, идущих на их построение, и меньшее время, затрачиваемое на ростовые процессы, что особенно актуально в условиях краткого достаточно сурового вегетационного периода. В крайнем своем выражении эта тенденция приводит к микроскопическим размерам высокогорных растений. В частности, К. Кёрнер [5] описал растения из высокогорий, которые в цветущем состоянии имеют размеры, не превышающие нескольких миллиметров. На схеме эта тенденция выражена в направлениях эволюции биоморф В-С-D и F-D (см. рис. 2). Миниатюрные жизненные формы наиболее распространены в верхних поясах высокогорной зоны, где миниатюризация является наиболее характерной тенденцией биоморфологической эволюции растений. Это позволило выделить группу биоморф — герпетофитов (или пресмыкающихся растений), вертикальные размеры которых не превышают размеров воздушного слоя, в котором они могут существовать, названного нами «высокогорным герпетобием». Причем в данную группу отнесены как небольшие прямостоячие (оротропные) растения, так и достаточно крупные растения, побеги которых, распространяясь горизонтально, не выходят за пределы высокогорного герпетобия (см. плагиотропность).

В нижней части высокогорной зоны, где совокупность экологических факторов, сдерживающих вертикальный рост растений, ослабляет свое влияние и усиливается конкурентное давление других видов, проявляется преобладание оротропных типов побегов, что наряду с увеличением размеров растений определяет гораздо большие размеры надпочвенного пространства, осваиваемого фитоценозом. Особенно это характерно для травянистых растений, которые в отсутствие деревьев достигают значительных вертикальных размеров: на альпийских лугах — 30–40 см (среднетравье), на субальпийских лугах — часто 1 м и более (высокотравье). Поэтому данную тенденцию у травянистых растений в наиболее благоприятных местообитаниях высокогорной зоны можно рассматривать как *гигантизацию*.

— *Плагиотропность*, которая проявляется в формировании полегающих (плагиотропных) побегов, распространяющихся по поверхности почвы, можно рассматривать как адаптацию относительно крупных растений к занятию более благоприятной приземной ниши в суровых условиях верхних поясов высокогорной зоны. Данная тенденция выражена в формировании ряда H-I-J (см. рис. 2).

— *Геофитизация* может рассматриваться как дальнейшая черта пространственной организации жизненных форм. Было замечено [6, 4], что в высокогорьях и высоких широтах деревянистые растения уподобляются травянистым, так как их многолетние части прячутся более или менее глубоко в почве, средние температуры которой обычно выше (особенно в условиях сильной солнечной радиации в высокогорьях) и стабильнее, чем температуры прилегающего воздуха. Это приводит к преобладанию подземной фитомассы над надземной, что позволяет растениям благополучно переносить резкие колебания температур в относительно небольшой надземной сфере. Особенно явно данная тенденция проявляется у ползучих древесных растений, когда их побеги «прячутся» в толще мха или почвы, а над поверхностью поднимаются только фотосинтезирующие органы. Такие крайне геофитизированные жизненные формы растений мы назвали «псевдотравянистыми».

— *Компактизация* выражается в формировании подушковидных, плотнодерновинных, кочкообразных жизненных форм, имеющих относительно небольшую поверхность контакта с окружающей надземной средой (см. рис. 2, *G*). В результате растения, сокращая ассимилирующую поверхность, приобретают большую устойчивость в суровых условиях высокогорий (не продуваются сильными ветрами, нивелируют перепады температур (особенно с переходом через 0°C), достаточно эффективно удерживают элементы питания и влагу в сфере своей жизнедеятельности [7]. Результатом формирования компактных жизненных форм является повышение их устойчивости в функциональном состоянии, что в суровых условиях высокогорий позволяет таким жизненным формам иногда преобладать в растительных сообществах (рис. 3).

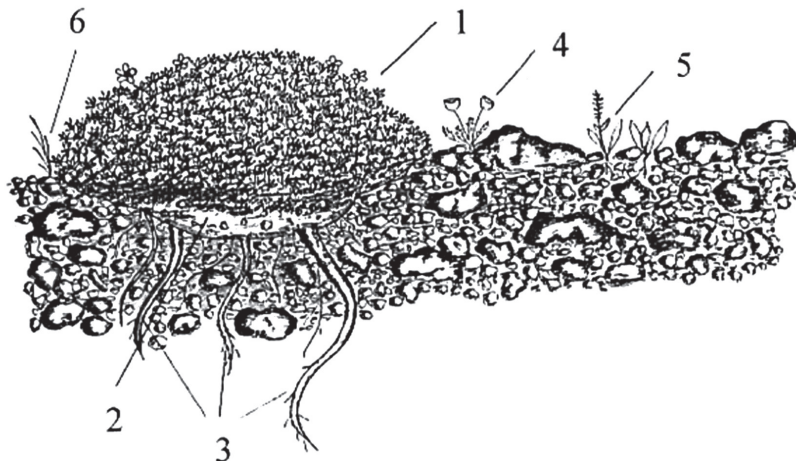


Рис. 3. Криофитное подушковидное растение и растения других жизненных форм на выложенном водоразделе Курайского хребта, на высоте 2950 м над ур. м. (1 – *Potentilla biflora*, 2 – основание подушковидной лапчатки, заполненное субстратом, 3 – корневая система, 4 – *Papaver pseudocanescens* (ксероморфный двудольный травянистый герпетофит), 5 – *Lagotis integrifolia* (мезоморфный травянистый герпетофит), 6 – *Poa altaica* (недерновинный граминоид-герпетофит) (объяснения см. в тексте)

Другим важным критерием дифференциации жизненных форм высокогорных растений является травянистость или деревянистость, что обычно взаимосвязано с интенсификацией или замедлением жизненных процессов и длительностью существования растений и их частей.

В качестве дифференцирующего признака использовано разделение на однодольные и двудольные растения.

Кроме того, для разделения жизненных форм использованы критерии: 1) мезоморфизма, который проявляется в преобладании мягких листьев с относительно большой фотосинтезирующей поверхностью, 2) ксероморфизма, проявляющегося в формировании узких листьев, часто покрытых восковидной кутикулой или опушенных светлыми волосками, что способствует сохранению влаги при относительно небольшой фотосинтезирующей поверхности, и 3) суккулентности, которая отражается в утолщении листьев и побегов и обычно связана с SAM-метаболизмом как морфолого-физиологической стратегией сохранения влаги. Кроме того, суккулентность и наличие органических кислот в тканях способ-

ствуют устойчивости фотосинтезирующего аппарата растений в условиях частых перепадов температур.

На основании анализа тенденций биоморфологической эволюции растений в высокогорной зоне умеренного пояса и эмпирического изучения биоморфологического разнообразия растений высокогорных фитоценозов Горного Алтая была разработана система жизненных форм высокогорных растений, которую можно использовать для изучения биоморфологического разнообразия фитоценозов северных тундр:

1. Миниатюрные многолетники с размерами до 2–3 см;
2. Травянистые многолетники с размерами, не превышающими 10–15 см, отнесенные нами к группе герпетофитов: 2.1. Мезоморфные травянистые двудольные герпетофиты, включая мягколистные и полусуккулентные герпетофиты; 2.2. Мезоморфные однодольные травянистые герпетофиты; 2.3. Суккулентные герпетофиты; 2.4. Ксероморфные травянистые герпетофиты: 2.4.1. Ксероморфные двудольные травянистые герпетофиты; 2.4.2. Недерновинные граминоиды-герпетофиты; 2.5. Мелкодерновинные морфотипы: 2.5.1. Двудольные мелкодерновинные герпетофиты; 2.5.1.1. Двудольные мелкодерновинные мягколистные герпетофиты, 2.5.1.2. Двудольные мелкодерновинные ксероморфные герпетофиты; 2.5.2. Мелкодерновинные граминоиды;
3. Древесные герпетофиты (вертикальные размеры не превышают 10–15 см): 3.1. Псевдотравянистые растения; 3.2. Шпалерные растения; 3.3. Кустарнички; 3.4. Нивелированные кустарники;
4. Плотные формы «экологических герпетофитов», которые включают: 4.1. Подушковидные растения; 4.2. Крупнодерновинные двудольные цветковые растения; 4.3. Крупнодерновинные граминоиды (tussock);
5. ЖФ растений относительно благоприятных местообитаний высокогорной зоны, включающие: 5.1 Мезоморфные растения лугов: 5.1.1. Двудольное среднетравье; 5.1.2. Двудольное высокотравье; 5.2. Мезоморфные граминоиды; 5.3. Прямостоячие кустарники; 5.4. Деревья; 6. ЖФ семиаридных и аридных высокогорий: Ксероморфные полукустарнички и полукустарники.

Для изучения соотношения показателей видового и биоморфологического разнообразия были использованы сравнительные исследования на примере модельных фитоценозов, относящихся к различным типам высокогорной растительности Республики Алтай (рис. 4). Количество видов цветковых растений было получено при стандартных геоботанических описаниях. Количество жизненных форм растений было получено при анализе биоморфологических спектров, полученных в тех же фитоценозах, с помощью вышеприведенной системы жизненных форм. Для анализа приводились наиболее типичные (усредненные) фитоценозы из выборки описаний (высокотравные альпийские луга – 5 описаний, среднетравные альпийские луга 11 описаний, низкотравные альпийские луга – 21 описание, псевдотундры – 21 описание, дриадовые тундры – 18 описаний, кустарниковые тундры – 5 описаний, криофитные подушечники – 16 описаний, ксерофитные подушечники – 36 описаний). Основным критерием усреднения являлось усредненное число видов в сообществе, кроме того, использовался критерий «наиболее типичного фитоценоза» для данного типа растительности, что соответствовало, на наш взгляд, наиболее усредненным показателям для данного типа растительности. Для некоторых типов растительности приводятся несколько

вариантов показателей, которые соответствуют вариациям фитоценозов в различных местообитаниях или другим причинам.

Результаты изучения корреляции видового и биоморфологического разнообразия в некоторых высокогорных фитоценозах Республики Алтай.

Попробуем проанализировать относительное биоморфологическое разнообразие в различных высокогорных фитоценозах Республики Алтай, относящихся к различным типам растительности (рис. 4).

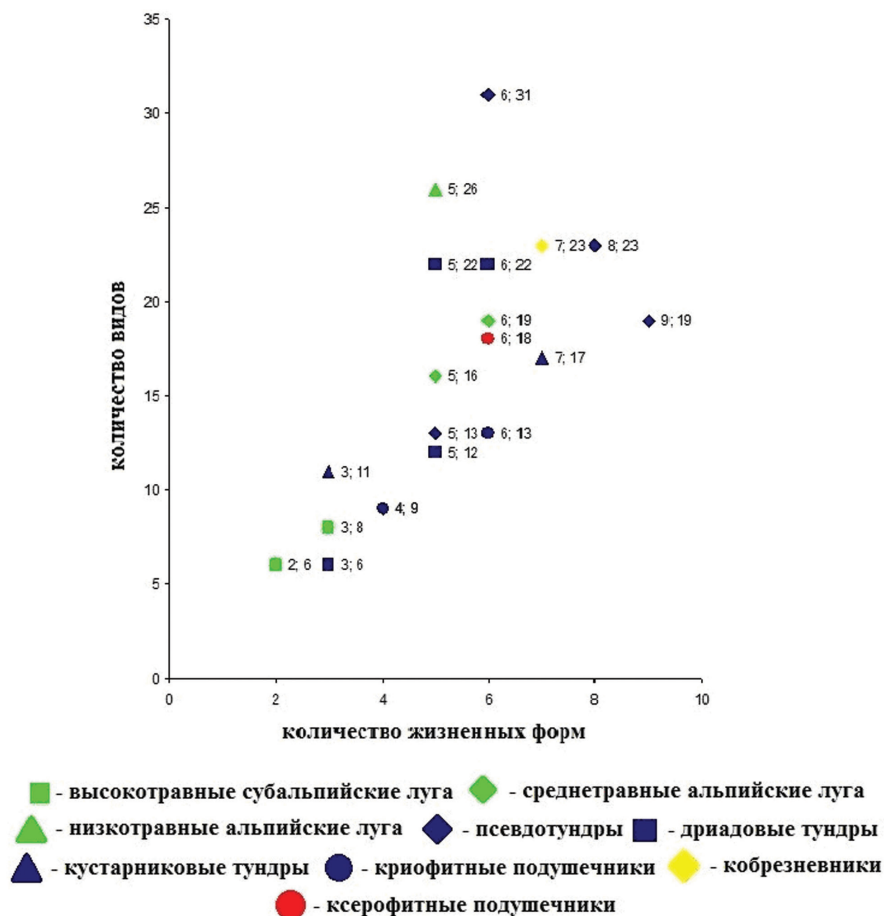


Рис. 4. Положение некоторых типов высокогорной растительности Республики Алтай в пространстве факторов видового и биоморфологического разнообразия. Первая цифра слева от значка обозначает количество жизненных форм растений в фитоценозе, вторая — количество видов цветковых растений

Как видно из рис. 4, в большинстве луговых фитоценозов (обозначенных зеленым цветом) относительное биоморфологическое разнообразие достаточно сходно, но определяется различными количественными показателями биоморфологического и видового биоразнообразия.

В *высокотравных субальпийских лугах* на западном макросклоне Катунского хребта (окрестности Верхнемультинского озера и озера Поперечного, Катунских



хребет) показатели ОБР — 0,33(2; 6), 0,37(3; 8). В ходе сукцессионного развития высокотравные луга имеют тенденцию к развитию монодоминантности и уменьшению видового разнообразия в результате жесткого конкурентного давления доминирующих видов высокотравья. Вместе с тем для каменистых осыпей, где произрастает эта растительность, характерно значительное пространственное разнообразие конгрегаций (под конгрегацией понимаются фитоценозы, у которых доминанты относятся к разным видам, но относятся к одной жизненной форме), связанных с сукцессионными стадиями в условиях механической нестабильности субстрата и разницей во времени стаивания снегового покрова. Данная особенность определяет существенные различия в видовом составе конгрегаций при относительно сходной их структуре. В результате этого в высокотравных субальпийских лугах видовое разнообразие характеризуется крайней степенью невыровненности. Следует отметить, что исследования, проводившиеся в данном месте по стандартным методикам геоботанических описаний [8], показали, что число видов цветковых растений в субальпийских высокотравных фитоценозах достигает 25–33. По вышеизложенным причинам, для сравнительных исследований ОБР использовать относительно однородные по видовым характеристикам конгрегации, которые создавали мозаику в пределах площади одного геоботанического описания. Использование же стандартных геоботанических площадей в данном случае переместит показатели ОБР субальпийских высокотравных лугов в верхнюю левую часть графика, что позволит отнести их к многовидовым, но биоморфологически бедным фитоценозам.

В *среднетравных альпийских лугах* (см. рис. 4), обследованных в районе Мультинских озер (Катунский хребет), пространственная гетерогенность менее выражена — «травостой достаточно однороден, выделяются лишь пятна мозаики, отражающие изменение степени щебнистости почвы» [8. С. 38]. Это, вероятно, связано с экстремализацией среды, что определяет меньшую инвариантность структуры травянистых фитоценозов, более жестко связанной с условиями экотопов. Следствием чего является относительно высокая степень выравнивания видового и биоморфологического разнообразия в пределах фитоценоза. По нашим наблюдениям, более пространственно гетерогенными являются полидоминантные среднетравные луга, характерные для верхней части пояса субальпийской растительности (в местах с более длительным периодом стаивания снегового покрова), а наиболее пространственно однородными являются эмеевиковые альпийские луга (по показателям вертикальных размеров растений, приближающихся к низкотравным альпийским лугам), произрастающие на верхнем пределе существования этой растительности вблизи нивального пояса. Порядок видовой насыщенности описания полидоминантного луга (19 видов) сходен этим показателем близкой ассоциации лугов *Aguilegio glandulosae-Festucetum krylovianae* (18–29 видов) в данном районе. При этом уменьшение влияния доминантов на структуру сообщества (по сравнению с высокотравными альпийскими лугами), а также повышение степени экстремальности и динамичности климата с ростом абсолютной высоты способствуют росту эпиморфологического и видового разнообразия фитоценозов среднетравных альпийских лугов при сходных показателях ОБР (0,31) с высокотравными альпийскими лугами.

Достаточно высокие показатели видового разнообразия низкотравных альпийских лугов можно объяснить ростом видового разнообразия при дальнейшем



снижении роли фитоценотического отбора в субэкстремальных условиях, позволяя этим сообществам довольно гибко реагировать на смену экологической обстановки за счет увеличения значения более соответствующих данной экологической ситуации видов. В то же время биоморфологическое разнообразие этих сообществ остается на уровне среднетравных альпийских лугов. Причинами этого являются суровые условия, препятствующие проникновению более высокорослых растений. В то же время в условиях достаточного увлажнения мезоморфные травянистые двудольные герпетофиты, образующие «ковровый дерн», абсолютно доминируют в таких фитоценозах, куда проникают недерновинные граминоиды, шпалерные растения и миниатюрные многолетники (рис. 5).

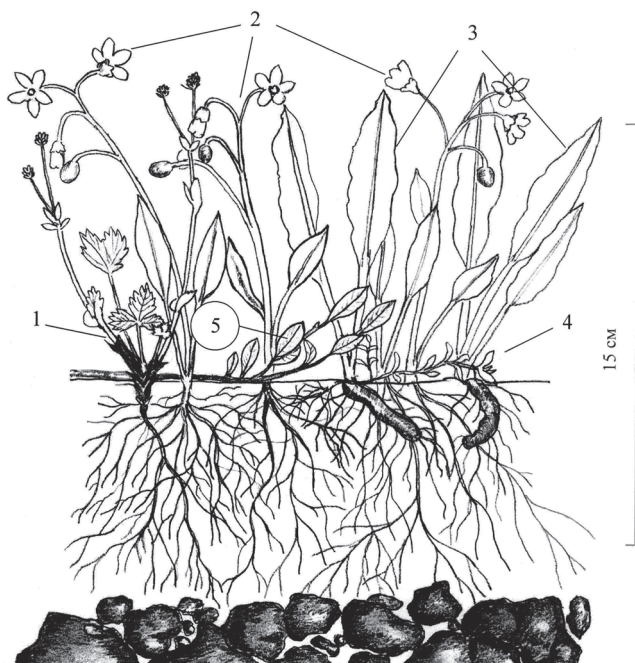


Рис. 5. Вертикальная структура фрагмента низкотравного луга на склоне западной экспозиции (отроги Северо-Чуйского хребта (Горный Алтай), 2400 м над ур. м.): 1 — *Potentilla gelida* С.А. Meyer, 2 — *Claytonia joanneana* Roemer et Schultes, 3 — *Bistorta officinalis* Delabre (мезоморфные травянистые герпетофиты); 4 — *Cerastium subciliatum* H. Gartner (миниатюрное растение); 5 — *Salix rectijulius* Ledeb. ex Trautv. (шпалерное растение)

Значительные вариации показателей биоморфологического и видового разнообразий отмечаются и в сообществах *высокогорного тундрового биома*.

Под *псевдотундрой* понимается растительность, генетически восходящая к альпийскому типу растительности, но являющаяся следствием «переработки» исходно альпийских видов в результате их адаптации к более суровым условиям горно-тундрового и субнивального поясов, в той или иной мере обогащенная элементами другого, не «альпийского» генезиса (петрофиты, криофитные подушечники и др.). Псевдотундра занимает высшую ступень поясов растительности в семиаридных горах внутриконтинентальной Азии, соседствуя с холодными пустынями, от которых отличается большей сомкнутостью растительного по-

крова. В фитоценозах псевдотундры (см. рис. 4), описанных на плато Водопадный (долина Актру, Северо-Чуйских хребет), показатель ОБР варьирует от 0,19 до 0,47. В наиболее суровых условиях высокогорной зоны на пределе высотного распространения растительности в горах Алтая фитоценозы псевдотундры имеют существенные различия, определяемые тем, что на экологическом пределе существования растений даже небольшие изменения экологических факторов в открытых фитоценозах имеют существенные последствия для колебания видовых и биоморфологических характеристик. Наиболее крайняя правая точка 0,47(9;19) показывает соотношение биоморфологических и видовых показателей в сообществе с преобладанием дерновинных растений возле кромки ледника. Точка 0,38(5;13) соответствует варианту псевдотундры, наиболее близкому к холодным высокогорным пустыням. Псевдотундры с преобладанием псевдотравянистых растений, развивающиеся в более благоприятных условиях, на графике тяготеют влево 0,34(8;23) и 0,19(6;31) и имеют несколько меньшие показатели относительного биоморфологического разнообразия, что объяснимо, прежде всего, более благоприятными условиями, способствующими проникновению в фитоценозы довольно значительного количества видов растений.

В *дриадовых тундрах* (см. рис. 4) относительное биоморфологическое разнообразие характеризуется довольно большими вариациями. Максимальное значение ОБР — 0,5(3;6) — отмечено в дриадовой тундре на хребте Талдуair, на аридном пределе произрастания дриадовых тундр на Алтае, и объяснимо тем, что в таких условиях дриада формирует максимально плотные дерновины, в которые может проникнуть незначительное количество видов других растений. В то же время на гумидном пределе существования этого фитоценоза (западная часть Катунского хребта) высокое относительное биоморфологическое разнообразие 0,41(5;12) связано, прежде всего, с повышением степени открытости этих фитоценозов в условиях относительно влажного климата, способствующей повышению разнообразия как биоморф, так и числа видов растений в сообществе [12]. Вероятно, минимальные показатели относительного биоморфологического разнообразия, отмеченные в дриадовых тундрах на г. Саганы (0,22(5; 22)) и Семинском хребте (0,27(6; 22)), являются более типичными для этой растительности на Алтае. Эти дриадовые тундры относительно близки по показателям биоморфологического и видового разнообразия к псевдотундрам с преобладанием псевдотравянистых растений (типичная жизненная форма дриады) (сдвинуты в левую часть графика). В то же время дриадовые тундры на пределе экологического ареала (в семиаридных и достаточно гумидных условиях) характеризуются относительно низким видовым разнообразием сообществ при относительно небольшом снижении биоморфологического разнообразия, что определяет их сдвиг в правую сторону графика.

Положение кустарниковых тундр с доминированием карликовой березки на графике (см. рис. 4), вероятно, во многом определяется эдификаторными особенностями кустарничкового и мохового ярусов, с которыми связаны как структура сообщества, так и условия проникновения других растений в него. Особенно это характерно для кустарниковых тундр на Катунском хребте (ОБР — 0,27(3;11)), где мощный моховый покров, формирующий в условиях хорошего увлажнения, препятствует прорастанию цветковых растений, размножающихся семенами. С другой стороны, среда моховых кустарниковых тундр способствует вегетативно возобновляющимся растениям-бриофилам.

Меньшее количество осадков в кустарниковых тундрах на г. Сарлык 0,41(7;17) препятствует разрастанию сплошного мохового наземного яруса и приводит к увеличению значения лишайников, что определяет большую степень открытости мохово-лишайниковых вариантов кустарниковых тундр и, соответственно, способствует увеличению их видового и биоморфологического разнообразия.

*Криофитные подушечники* (см. рис. 3), существующие на верхнем высотном пределе распространения растительности в горах Алтая, представляют собой относительно маловидовые сообщества с достаточно высоким биоморфологическим разнообразием (ОБР 0,44(4; 9); 0,46(6; 13)).

Высокое относительное биоморфологическое разнообразие отмечено в открытых сообществах *ксерофитных подушечников* (красный круг на графике и значения 0,33(6;18), 0,46(6;13) и 0,41(5;12), близкие к данным показателям для криофитных подушечников). Ксерофитные подушечники на Алтае произрастают в нижней части высокогорной зоны по бортам Чуйской и Курайской котловин с достаточно аридным климатом.

Криофитные и ксерофитные подушечники (или нагорные ксерофиты) на Алтае представляют собой физиономически сходные, но развивающиеся в существенно отличающихся экологических условиях сообщества с доминированием подушковидных растений. При достаточно высокой степени напряженности абиотической среды лимитирующим фактором для криофитных подушечников выступают низкие температуры периода вегетации, на фоне которых наблюдаются практически ежесуточные заморозки, в то время как довольно высокие летние температуры в местообитаниях ксерофитных подушечников приводят к дефициту влаги (при довольно высоких контрастах суточных температур). В целом, субэкстремальные условия местообитаний сообществ подушечников способствуют формированию довольно высокого биоморфологического разнообразия при относительно невысоком видовом. При этом, как показали исследования, несколько менее суровые условия произрастания и ксероморфный вектор эволюции сказались на повышении видового и биоморфологического разнообразия в сообществах ксерофитных подушечников.

Желтым ромбом на графике показано соотношение биоморфологического и видового разнообразия в сообществе *кобрезиевника* — 0,3 (7; 23).

Анализ полученных данных позволяет заметить следующее:

1. Прежде всего, необходимо отметить некоторую сбалансированность видового и биоморфологического составов различных типов высокогорной растительности, что отражается в положении показателей ОБР большинства из них на графике (см. рис. 4) в области медианы. Можно предположить, что данная особенность является адаптивным признаком большинства высокогорных фитоценозов.

2. Как видно из рис. 4, большинство открытых фитоценозов, произрастающих в наиболее суровых условиях, тяготеют к правой нижней части графика, что говорит о тенденции компенсации низкого видового разнообразия биоморфологическим при экстремализации среды обитания.

3. Луговые фитоценозы, благодаря влиянию видов-эдификаторов, имеют относительно невысокие показатели биоморфологического разнообразия. При этом по мере уменьшения эдификаторных свойств доминирующих видов в ряду высокотравные субальпийские луга — среднетравные альпийские луга —

низкотравные альпийские луга биоморфологическое и видовое разнообразие имеет тенденцию к росту.

4. Субальпийские луга, развивающиеся в гумидных районах Алтая на подвижных каменистых осыпях, характеризуются мелкомасштабной мозаичностью конгрегаций, в результате чего они имеют высокую степень невыровненности показателей видового разнообразия при стабильности биоморфологических показателей. При использовании стандартных методик геоботанического описания показатель ОБР резко уменьшается.

5. Тундровые фитоценозы, развивающиеся в субэкстремальных условиях, имеют относительно высокое видовое и биоморфологическое разнообразие, что связано с разнообразием стратегий экотопической адаптации видов при значительном уменьшении роли фитоценотического отбора.

6. В некоторых фитоценозах тенденция к увеличению относительного биоморфологического разнообразия связана не с разнообразием биоморф, а с уменьшением видового разнообразия (дриадовые тундры на криоаридном пределе произрастания, субальпийские луга в стадии климакса).

7. Варьирование показателей относительного биоморфологического разнообразия может свидетельствовать о значительной степени экологической толерантности фитоценозов, хотя причины сходства величин относительного биоморфологического разнообразия могут быть разными.

## **Заключение**

Известно, что биоразнообразие является аспектом, определяющим устойчивость экосистем и биосферы в целом. Биоморфологическое разнообразие фитоценозов является отражением их функциональной характеристики в определенных экологических условиях и тенденции к максимально эффективному использованию потенциала местообитаний (как и видовое разнообразие). Поэтому логично, что биоморфологическое и видовое разнообразия способны до некоторой степени компенсировать друг друга в функциональном аспекте растительных сообществ.

Экстремализация условий высокогорий проявляется в уменьшении сомкнутости фитоценозов, уменьшении количества и высоты ярусов, что приводит к снижению роли фитоценотического отбора (уменьшающего гиперобъем нишевого пространства) и, как следствие, способствует росту разнообразия экологических стратегий растений, следствием чего является увеличение биоморфологического и видового разнообразия фитоценозов. Но при этом фактором, определяющим ограничение видового разнообразия в сообществе, является усиление экотопического отбора. Иными словами, в условиях ограничения пула видов при экстремализации среды обитания, сообщество «заполняет» гиперобъем пространства экологических ниш за счет роста биоморфологического разнообразия, которое отражает разнообразие экологических стратегий видов в отсутствие жесткого «протектората» доминантов. В данном случае повышение биоморфологического разнообразия фитоценозов может отчасти компенсировать снижение видового разнообразия, что может положительно сказаться на их устойчивости в субэкстремальных условиях.

Кроме того, высокое биоморфологическое разнообразие большинства высокогорных фитоценозов может быть следствием тенденции к увеличению мозаики

местообитаний в результате пространственной неоднородности среды обитания и высокой динамичности климата, возрастающих по мере аридизации и увеличения абсолютной высоты. Данная особенность высокогорий является предпосылкой многообразия стратегий адаптации растений, непосредственно связанных с жизненными формами.

Другой предпосылкой роста ОБР может быть увеличение роли вегетативного размножения, и соответственно, вегетативной подвижности растений на фоне уменьшения значения генеративного возобновления при экстремализации среды обитания (что подтверждается значительным увеличением количества столонообразующих растений, растений со шнуровидными корневищами, с корнеотпрысковым возобновлением, ползучими побегами и другими формами вегетативной подвижности в верхних поясах гор).

Таким образом, существуют предпосылки, определяющие тенденцию к увеличению биоморфологического разнообразия на фоне снижения видового разнообразия при экстремализации среды обитания растений.

Необходимо признать, что причины изменения биоморфологического и видового разнообразия растительности могут иметь не только экологическую природу. Так, например, видовое и биоморфологическое разнообразие сообществ зависит от флористического разнообразия региона, которое во многом определяет «степень заполненности» экологических ниш в растительных сообществах. Само по себе высокое видовое разнообразие еще не свидетельствует о максимальной заполненности гиперобъема ниш потенциальных местообитаний. Заполнение экологических ниш происходит в результате длительной эволюции растительного покрова (путем адаптациогенеза и/или процессов миграции), в которой пул видов является предпосылкой, а биоморфологическая эволюция — одним из важных механизмов данного процесса.

Изучение относительного биоморфологического разнообразия фитоценозов позволяет найти экологические аспекты корреляции между видовым и биоморфологическим разнообразием, что позволяет говорить о перспективности этого подхода в изучении растительности. Необходимым условием исследования является использование одной системы жизненных форм растений, достаточно полно отражающей биоморфологическое разнообразие фитоценозов.

## Литература

- [1] Шафранова Л.М., Гатицук Л.Е., Шорина Н.И. Биоморфология растений и ее влияние на развитие экологии. М. : МГПУ, 2009. 86 с.
- [2] Волков И.В. Correlation of species and biomorphological varieties in the structure of phytocoenosis // Вестник ТГПУ. 2011. Вып. 8 (110). С. 67–69.
- [3] Волков И.В. Введение в экологию высокогорных растений. Томск : Изво ТГПУ, 2006. 416 с.
- [4] Мазуренко М.Т. Биоморфологические адаптации растений Крайнего Севера. М. : Наука, 1986. 208 с.
- [5] Körner Ch. Alpine plant life. Berlin, 1999. 338 p.
- [6] Тихомиров Б.А. Очерки по биологии растений Арктики. М. : Наука, 1963. 155 с.
- [7] Волков И.В., Кулижский С.П. Локальное почвообразование в подушковидных растениях и его влияние на биологическое разнообразие высокогорий // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 3. С. 345–351.
- [8] Артемов И.А. Королюк А.Ю., Седельникова Н.В., Горбунова И.А., Писаренко О.Ю. Флора и растительность Катунского заповедника (Горный Алтай). Новосибирск : Издательский дом «Манускрипт», 2001. 316 с.

## Сведения об авторах

**Волков Игорь Вячеславович** — канд. биол. наук, доцент, научный сотрудник НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета, доцент кафедры общей биологии и методики преподавания биологии Томского государственного педагогического университета (г. Томск, Россия). E-mail: volkovhome@yandex.ru

**Волкова Ирина Ивановна** — канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: volkovhome@yandex.ru

**Мухтобарова Елена Юрьевна** — магистрант Томского государственного педагогического университета (г. Томск, Россия). E-mail: ciliophora@ya.ru

## About

**Igor V. Volkov** — PhD, Scientific Research Institute of Biology and Biophysics, Tomsk State University; Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia. E-mail: volkovhome@yandex.ru

**Irina I. Volkova** — PhD, Tomsk State University, Tomsk, Russia. E-mail: BioClimLand@yandex.ru

**Elena Yu. Muchtobarova** — Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia. E-mail: ciliophora@ya.ru

---

**Igor V. Volkov,<sup>1,2</sup> Irina I. Volkova<sup>1</sup>, Elena Yu. Muchtobarova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tomsk State University (Tomsk, Russia)

<sup>2</sup>Tomsk State Pedagogical University (Tomsk, Russia)

### **The analysis of the correlation between species and biomorphological diversity in some high altitude phytocoenoses of the Gorny Altai**

The variety of life forms in a phytocoenosis is an important biodiversity feature. A connection between life forms' diversity and species diversity in plant communities results in a relative biomorphological diversity, the analysis of which in the case of Alpine vegetation in the Gorny Altai is given in this paper. A comparative analysis of the phytocoenosis models related to various types of alpine vegetation was done employing an original system of life forms. Sampling was done in typical phytocoenoses and the ones being on edge of ecological tolerance for a particular vegetation type. The research results have shown that most alpine phytocoenoses have a balanced species and biomorphological structure. This peculiarity may be considered to be an adaptive feature. The phytocoenoses growing in the most severe environments display a trend to compensate low species diversity with life forms' diversity. Meadow phytocoenoses have relatively low parameters of the biomorphological diversity. Alongside with this in the row «tall herb subalpine meadows — mid herb alpine meadows — short herb alpine meadows» the biomorphological diversity tends to increase while the growth of the species diversity slows down because of the increase in the environment severity. The tall herb subalpine meadows of the most humid Altai regions display the highest rate of species diversity parameters' spatial variation, with life forms being stable and of low diversity. Tundra phytocoenoses developing under more severe conditions have a relatively high species and biomorphological diversity, which is related to a variety of species adaptation strategies with a considerable decrease in the dominants' role. Some phytocoenoses reveal a tendency to a relative increase in the biomorphological diversity which is related not to the diversity of biomorphs but to the decrease in species diversity at the ecological boundary of mountain Dryas-dominated tundra and the tall herb subalpine meadows' passing to a climax stage. The variation of relative biomorphological diversity parameters within one vegetation type may be the evidence of a high degree of its ecological tolerance.

*Keywords:* relative biomorphological diversity; life forms; Gorny Altai.



## References

- [1] Shafranov L.M., Gattsuk L.E., Shorina N.I. *Biomorfologiya rasteniy i ee vliyaniye na razvitiye ekologiy* [Biomorphology of plants and its influence on the development of ecology]. Moscow: MGPU Publ., 2009. 86 p. (In Russian).
- [2] Volkov I.V. Correlation of species and biomorphological varieties in the structure of phytocoenosis. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta – Tomsk State Pedagogical University Bulletin*, 2011, no. 8 (110), p. 6769.
- [3] Volkov I.V. *Vvedeniye v ekologiyu vysokogornyykh rasteniy* [An introduction to the ecology of alpine plants]. Tomsk: TGPU Publ., 2006. 416 p. (In Russian).
- [4] Mazurenko M.T. *Biomorfologicheskie adaptatsii rasteniy Kraynego Severa* [Biomorphological adaptation of plants of the Far North]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 208 p. (In Russian).
- [5] Körner Ch. *Alpine plant life*. Berlin, 1999. 338 p.
- [6] Tikhomirov B.A. *Ocherki po biologii rasteniy Arktiki* [Essays on the biology of plants of the Arctic]. Moscow: Nauka Publ., 1963. 155 p. (In Russian).
- [7] Volkov I.V., Kulizhskiy S.P. Local Soil Formation in Polster Plants and its Effect of the Biological Diversity of Highlands. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal – Contemporary Problems of Ecology*, 2007, vol. 3, p. 345351 (In Russian).
- [8] Artemov I.A., Korolyuk A.Yu., Sedel'nikova N.V., Gorbunova I.A., Pisarenko O.Yu. *Flora i rastitel'nost' Katunskogo zapovednika (Gornyy Altay)* [Flora and vegetation of the Katun Reserve (Altai Mountains)]. Novosibirsk: Manuscript Publ., 2001. 316 p. (In Russian).



UDK 582.29 : 581.5.

## **Translocation as the method of negative impact decrease on lichenobiota**

**Andrey N. Efremov<sup>1</sup>, Natalya V. Plikina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Design Institute for Oil and Gas Projects Construction and Rehabilitation (Omsk, Russia)

<sup>2</sup> Omsk State Pedagogical University (Omsk, Russia)

The realization of industrial and infrastructure projects is accompanied by some negative consequences on lichenobiota, a low labile group that reacts vehemently to changes of habitat conditions. The priority strategy of lichenobiota conservation and minimization of environmental risks is conservancy of intact habitats. However, in certain cases transformation degree and planned influences are in such a state that translocation is a more effective alternative option. The conservation of cenopopulations in situ by translocation to similar biotopes obtains high importance for conservancy of rare and protected species of lichens. At realization of this strategy, there is no destruction of individuals although a habitat is collapsed. Besides, it is possible to avoid a negative impact during operational phase by means of recipient territories choice. Microhabitats conditions correspondence of recipient territories to the donor ones allows increasing process efficiency. Possible realization difficulties include small amount of information about experience realization, technology adaptation under conditions of certain habitats and possible death of some thallomes. Translocation technology development as alternative option of rare lichens species preservation is a qualitatively new approach, differing in high economic efficiency and low ecological risks from others.

*Keywords:* lichenobiota, translocation, ecological risks, industrial and infrastructure projects.

### **Introduction**

Implementation of industrial and infrastructure projects is accompanied by negative impact on vegetation cover including lichenobiota, the least labile group that reacts to slightest changes of habitat conditions. The priority strategy of lichenobiota conservation and minimization of environmental risks is preservation of intact habitats. However, in certain cases the degree of transformation and planned influences is so high that translocation appears to be the only alternative option.

The preliminary environmental impact assessment for development projects is regulated by Article 47 of the Town-Planning Code of the Russian Federation # 190-FZ [1]. The main scope of assessment of the predictable impact on the environment (within environmental engineering surveys prior to implementation of development projects) is presented in construction regulations SP 47.13330.2012 Engineering Survey for Construction... [2] and SP 11-102-97 Environmental Engineering Survey for Construction [3].

The general strategies of biodiversity protection are determined in a number of international regulatory documents, such as Convention on Biological Diversity [4] and Global Strategy for Plant Conservation [5], which consider biological diversity as a key element providing sustainable functioning of ecosystems. A priority trend in rational nature management is the development of non-government initiatives, such as FSC Principles and Criteria of Forest Stewardship [6] and concept of Important Plants Areas [7]; the latter are designed in accordance with the international nature protection practice although they are not classified as legally protected territories.

The International Finance Corporation (IFC) has adopted a sustainable development concept as a risk management strategy [8]. In case of direct investments, IFC requires the application of standards in management of environmental and social risks and impacts to prevent the negative consequences. The IFC Performance Standard 6: Biodiversity Conservation and Sustainable Management of Living Natural Resources [8] acknowledges that protection and conservation of biological diversity and careful use of ecosystems, taking into account future needs, form the basis of sustainable development. Special requirements are set for critical habitats (Clause 16, PS 6 IFC). In case critical habitats are negatively affected, an impact assessment should be provided to minimize the consequences for biological diversity and to integrate the monitoring of such habitats into the company's project management system [8].

In the Russian Federation, the main regulatory document in the area of biodiversity conservation is Federal Law # 7- FZ *On Environmental Protection* [9]. Legal relations in the area of vegetation protection are partially regulated by Forestry Code of the Russian Federation # 200- FZ [10]. *Strategy for the Preservation of Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi* (Addendum to Order # 323 of the Ministry of Natural Resources of Russia) [11] establishes the following priority measures aimed to preserve rare and endangered species: conservation of populations in their natural habitats; conservation and rehabilitation of natural habitats, reconstruction of biotopes; and recruitment of lost populations. Restrictions of business activities with regard to the listed items are determined in the IUCN Red List of Threatened Species [12] and CITES [13] at the international level; in Russia, by Government Decree # 158 *On the Red Book of the Russian Federation* [14] and the Order # 419-a of the RF State Committee for Environment Protection *On Approval of the Russian Federation Red Book Keeping Procedure* [15] at the federal level. Liability for illegal extermination of protected species is determined by the Criminal Code of the Russian Federation # 63- FZ [16] and Articles 84.3 and 84.4 of the Administrative Violations Code # 195- FZ [17]. Fixed charges for damage extent calculation are established by the Order # 658 of the Ministry of Natural resources of the Russian Federation *On the Endorsement of Charges for Calculation of Damage Incurred on the Plant Objects* ... [18].

It should be noted that most of the regulatory documents treat the lichens as a component of an ecosystem and range them in a wide category "Objects of the Vegetable World". The main focus is made on the conservation of the red-listed species rather than on their habitats. Conservation of lichen diversity at the regional level is achieved through the protection of typical and rare plant communities.

The objective of this study is to develop a project of translocation of protected lichens as a strategy of *in situ* protection on the territories affected by significant man-induced impacts.

## Research methods

The principle of translocation was developed when the Design Institute for Oil and Gas Projects Construction and Rehabilitation carried out an assessment of potential impact on protected lichen species and their habitats in the course of the planned OPF Compression Project. On the levelled land plot allotted for the compression station, within the facility-affected zone, a compact habitat of three species of lichens listed in the Red Book of the Russian Federation [19] and the Red Book of Sakhalin Oblast [20] was found: *Bryocaulon pseudosatoanum* (Asahina) Kärnefelt., *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., and *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A. Massal. In accordance with the criteria I and II specified in Clause 16 of IFC PS 6: *Biodiversity Conservation and Sustainable Management of Living Natural Resources* [8], this territory is considered a critical habitat since it is a compact habitat of several rare species [8]; according to the Classification of High Conservation Value Forests (HCVF), the locality is to be related to HCVF type 1.2 [6].

The above restriction was taken into account when making a decision on the plot plan preparation and equipment and utilities configuration. The area with massive growth of protected species (being a fragment of natural forest with the area of 0.23 ha) is adjacent to the land plot allotted for the compression station construction (54 m to the north), a motor road (58 m to the south) and the main production site (234 m westward of flare zone). Lichens are extremely sensitive to ambient air pollutants, and the presence of pollutants in the period of the compression station operation will facilitate the degradation and deterioration of habitat conditions, and the gradual loss of lichens. The specified area should have an exclusion zone with a buffer 10 m wide, with the fireproof break being as small as practicable. This complicates the equipment arrangement. The existing buffer is situated in the impact zone with a severely transformed landscape. Therefore, it was vital to develop a brand new alternative, and translocation was selected as such.

The assessment of vegetation cover as a habitat of protected lichens was made within the identified locality and in the background habitats, using traditional research methods [21]. Collection and preparation of herbarium specimen of lichens were carried out in accordance with standard practice [22]. The assessment of habitats included such parameters as substrate and synusial preference, frequency, area occupied by thallomes, and projective cover. Five test sites were established in the compact habitat area, where the frequency, projective cover degree and area of thallomes were measured using a measuring grid, with further extrapolation to the entire locality [23].

The area occupied by the individual species of epiphyte lichens on the surface of trunks and branches was calculated using the formula:

$$A = S \times a \times PC \times b, \quad (1)$$

where  $A$  is the area occupied by epiphyte lichens;  $S$  is the area of a phorophyte's trunk surface;  $a$  is the number of trees;  $PC$  is the projective cover of lichens (in fractions); and  $b$  is the frequency of lichens.

Trunk surface area is assumed to be a cone surface and is calculated by the formula:

$$S = \pi \times r \times h, \quad (2)$$

where  $S$  is the area of a tree trunk surface;  $r$  is the average radius of a tree trunk base; and  $h$  is the average height of a tree.

For *Bryocaulon pseudosatoanum*, the corrective factor 1.5 has been applied to formula 2, since this species can grow on branches as well.

The frequency of lichens was calculated by the formula:

$$b = n / N, \quad (3)$$

where  $b$  is the frequency of lichens;  $n$  is the number of sites where a species was registered; and  $N$  is the total number of test sites.

The regional authorities of Sakhalin Oblast have not established fixed charges for the calculation of damage caused by gathering or extermination of lichens listed in the Red Book of Sakhalin Oblast [20]; therefore, the calculation of damage was made based on the Order # 658 of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation *On the Endorsement of Charges for Calculation of Damage Incurred on the Objects of Flora ...* [18].

Risk assessment was performed in accordance with current internal standards of Sakhalin Energy Investment Company Ltd [24, 25, 26].

## 2. results and discussions

In accordance with phytogeographical zoning, the studied area relates to the North-Sakhalin area of the Amgun-Sakhalin floristic district of the Circumboreal floristic region and occupies the territory of the North-Sakhalin plain [27]. The background vegetation is represented by larch forests (*Larix cajanderi*) and larch open stands with dwarf pine (*Pinus pumila*) layer, which are associated with a variety of species adapted to moisture and soil nutrition deficit (*Arctostaphylos uva-ursi*, *Carex vanheurckii*, *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Empetrum sibiricum*, *Vaccinium vitis-idaea*). In the terrain microdepressions, along the water bodies, there are some sphagnum bogs or grass and sphagnum bogs. Natural sedge meadows and sedge and reedgrass meadows are confined to the Sea of Okhotsk coast [28] (see Figure).

The studied species of lichens (*Bryocaulon pseudosatoanum*, *Menegazzia terebrata*, *Lobaria pulmonaria*) are confined to forest habitats only, which are represented by larch forests with green mosses and short grasses and by larch, spruce and silver fir shrub forests with green mosses. *Bryocaulon pseudosatoanum* typically forms synusia of fruticose (*Bryoria trichodes*, *Usnea longissima*), foliose (*Parmelia sulcata*, *P. squarrosa*, *Hypogymnia sachalinensis*, *H. subduplicata*, *H. sachalinensis*, *H. vittata*) and crustose lichens (*Mycoblastus sanguinarioides*, *Ochrolechia arborea*, *Bacidia laurocerasi*). Beside epiphyte synusia, epigeic species *Alectoria ochroleuca* and *A. nigricans* are observed on branches and logging residues. On branches of *Larix cajanderi* synusia of *Bryocaulon pseudosatoanum* with *Japewia tornoënsis* can be found. *Menegazzia terebrata* forms synusia with *Bryoria trichodes*, *Usnea longissima*, *Hypogymnia* spp., *Ochrolechia pallescens*, and *Lecidella elaeochroma* on the trunks of *Abies sachalinensis*. *Lobaria pulmonaria* forms epiphyte lichenosynusia with *Hypogymnia* spp. and *Usnea longissima* on the trunks of *Picea ajanensis*.

In the course of locality and impact zone investigations, the total number of registered locations amounted to 35 including 20 locations of *Bryocaulon pseudosatoanum*, 12 locations of *Lobaria pulmonaria*, and three locations of *Menegazzia terebrata*. All registered species are epiphytes growing on the trunks and branches of live and dry trees (*Larix cajanderi*, *Picea ajanensis*, *Abies sachalinensis*) at different heights. The condition of the observed cenopopulations of lichens is stable; no visible signs of damage (changed colour, necroses, mechanical damages) have been detected.

Construction of a new process facility, the compression compressor station, will result in a considerable human-induced impact on the vegetation cover (both the protected species and their habitats). The most serious impact will consist in full removal

of the vegetation cover during the construction and land planning works, as well as vegetation cover discontinuity and mechanical damages. Deforestation will lead to increasing insolation and reducing humidity in the habitats, which will trigger distortion of some physiological reactions and negatively affect the processes of growth and development. The territory adjacent to the site will almost entirely be subject to moderate transformation (topsoil compaction, mechanical damages). During the construction period, the main impact on the habitats of protected lichens will be caused by transient sources. Since the construction phase will be short, negative impact on the identified locality will be less significant than that at the operation phase. During the operation, the main impact will be associated with the emission of exhaust gases in the atmosphere from stationary sources (compressor units, flare zone of the process facility). Taking into account the fact that the identified locality is situated within the sanitary protection zone and lies in the main direction of pollutants spreading from the stationary and transient sources, destructive processes in lichenobiota should be expected to develop. Thus, the impact of the compression station construction phase is estimated as major and the impact of its operation phase as significant due to demutation process development.

It should be considered that the identified locality is situated in the impact zone and sustains cumulative impact (gas emissions, mechanical damages), which may enhance the degradation of habitats of lichens even if protective measures are taken (buffer zone retention, roads watering to remove dust etc.). In this regard, conservation of lichens *in situ* and the habitat conservation seem to be inefficient in the presence of a 10-meter buffer zone and sources of emission.

An alternative option of the project implementation is the translocation of protected species to the biotopes that have a number of parameters essential for normal development. Some experience of re-introduction and translocation of rare and endangered plants has been described in Russian and foreign literature [29, 30, 31, 32, 33]. Unlike animals and plants, an important specific feature of lichens protection is impossibility of their introduction and conservation *ex situ*.

One of the existing strategies for *Lobaria pulmonaria* re-introduction is the **transplantation** of thallomes; this type of works aimed to increase the population was carried out in Switzerland [34]. In the works of O. Gilbert [35], transplantation of thallomes of *Lobaria amplissima* together with the pieces of bark, 3–5 cm in diameter, was performed. A long-term monitoring of transplants growth showed that the transplantability rate was 70 %; the highest damage and mortality of thallomes due to the transplantation were observed in the first year. An interesting option is to disperse lichens using propagules [36]. In Russia, works on *L. pulmonaria* thallomes transplantation were carried out in the Republic of Komi [37]. Although this experience was successful, translocation has not become a widespread practice, as the thallomes transplantability required long-term observations [34]. During the monitoring, the most frequent controlled parameters are the size of thallomes and the degree of their dying-off; biomass annual buildup is a less frequent parameter, the determination methodology for which was suggested by B. McCune et al. [38].

**Translocation** is an intentional or induced transfer of wild-growing individuals or populations from one part of a species' area to another [29, 39]. Translocation has a number of advantages. Firstly, this technique implies the transfer of phorophyte fragments (including dead grass and trees subject to removal during the works implementation) to-

gether with the lichen thallomes, which is supposed to provide a higher survival rate. Secondly, this technique is less labour-consuming due to the easy preparation and fixation of transplants. The main requirement at all stages of work is a detailed documenting of the process and the direct participation of a professional lichenologist. The procedure includes the following basic phases:

1. Selection, registration, and marking of phorophytes and donor segments.
2. Identification of biotopes for the translocation (recipient habitats) based on the field surveys data.
3. Selective cutting of trees not being the habitats of the rare species of lichens (for the scenarios where full deforestation is required). Transportation of the tree-length material from the work site.
4. Mechanical cutting of marked trees using a harvester. In order to prevent the damage of lichen thallomes during the phorophytes cutting and trees transportation, the works should be performed in highly humid conditions; otherwise, the thallomes should be moistened artificially.
5. Transportation of marked donor fragments which are the natural habitats of *Menegazzia terebrata*, *Lobaria pulmonaria*, and *Bryocaulon pseudosatoanum* (with branches) to similar biotopes.
6. On the recipient site, the phorophyte trunks can be positioned either horizontally on the substrate (part of *Lobaria pulmonaria* thallomes, and *Bryocaulon pseudosatoanum* on the branches of phorophytes) or at an angle of 45–60° to the supporting tree (*Menegazzia terebrata*, remaining part of *Lobaria pulmonaria* thallomes, and *Bryocaulon pseudosatoanum*). Next, it is necessary to grid the phorophyte trunks, make up sketches of the sites and determine the diameters of lichen thallomes, their reproduction methods, and substrates.
7. Monitoring of the populations of translocated lichens. The main controlled parameters should include annual sketching, measurement of thallome diameters, projective cover, the degree of thallomes dying-off, the determination of reproduction methods, the composition of developing synusia, and the occurrence of these species of lichens in adjacent areas.

The main costs for this option implementation are the compensation charges for the destruction of habitats of rare lichens in accordance with the Order # 658 of the Russian Federation Ministry of Natural Resources [18], and the expenses for the translocation procedure. The expenses for lichens translocation can be calculated according to the recommendations on resettled plants rehabilitation [31], using the formula (4) with complements:

$$Q = 2 \times N \times T \times R + 2 \times N \times R \times T_m + A \times N + M_1 + M_2, \quad (4)$$

where  $Q$  is the cost of relocation;  $N$  is the number of phorophyte trunks;  $T$  is man-hours;  $R$  is the cost of one man-hour;  $T_m$  is the time spent on transportation;  $A$  is the cost of using motor vehicles;  $M_1$  is the cost of lichenologist's participation in the translocation process; and  $M_2$  is the cost of annual monitoring.

The preliminary number of phorophyte trunks to be transferred with lichens *Bryocaulon pseudosatoanum*, *Lobaria pulmonaria*, *Menegazzia terebrata* is 28 pieces, taking into account the frequency of individual species and the possibility of their cohabitation on one phorophyte trunk. Estimation of costs and the amounts of cost-based payments are shown in Tabl. 1 and 2.



Table 1. Preliminary assessment of damage to the habitat of the protected lichen species

Type of impact	Charge, RUR/m <sup>2</sup>	Area of habitat, m <sup>2</sup>	Damage amount, RUR
Destruction of habitats (Bryocaulon pseudo-satoanum, Lobaria pulmonaria, Menegazzia terebrata) [18]	22,500	21.4	481,500.0
Corrective factor 1.5 for damage caused using appliances (Clause 8 of Comments to Order # 658 of the RF Ministry of Natural Resources [18])			722,250.0
TOTAL			722,250.0

Table 2. Preliminary estimation of costs for lichens translocation

Indicator	Value
N – number of phorophyte trunks, pcs	28
T – man-hours	1.0
R – cost of one man-hour, RUR	400.0
T <sub>m</sub> – time spent for transportation, hours	1.0
A – transportation costs, RUR/trunk	200.0
M <sub>1</sub> – costs for lichenologist's participation in translocation, RUR	20,000.0
M <sub>2</sub> – costs for annual monitoring, RUR	10,000.0
TOTAL	80,400.0

The proposed translocation technique can be combined with transplantation activities. For transplantation purposes, it is reasonable to select the thallomes that can, for technological reasons, be destructed during gathering, or single thallomes found on a trunk. The thallomes should be cut out together with substrate (bark fragment) the diameter of which should be 2–3 times larger than the diameter of lichen. The thallomes should be fixed on recipient phorophytes, taking into account the appropriate conditions of microhabitats (substrate preference, consortium links, height of affixion, exposition etc.). The transplants are fixed with epoxy adhesive or polymer-insulated metal brackets.

In case of transplantation of maximum 10 % of all thallomes taken for the translocation, the cost of works will possibly increase by approximately 15–20 % (primarily, due to the labour input in transplants preparation and fixation). The transplantation of all thallomes is ineffective because transplantation is a more destructive technique.

In the course of translocation project development (*option 3*), other methods of negative impact mitigation were studied to assess possible alternatives. One of them is the conservation of populations *in situ* in the area of compact habitat of rare lichen species with the 10 m buffer zone for the period of operation (*option 1*). However, since lichen thallomes are sensitive to changes in microclimate and have specific reproduction, the buffer zone must be at least 50–150 m to provide an efficient protection [34, 40], which is impossible taking into account the necessity to establish a fireproof break during project implementation. The habitat of lichens is surrounded by the potential sources of emission, such as a flare zone, a motor road, and the projected compression station site. Considering the proximity of industrial areas, in the period of operation the protective zone will be insufficient for the habitats conservation, and it will facilitate degradation and deterioration of habitat conditions, and the delayed loss of lichens.

Another option is a complete destruction of protected species *in situ* and their habitats, and equivalent compensation payments (*option 2*). This option results in the most



negative consequences for the biota. Although the protected species are spread widely enough in the vicinity of the Onshore Production Facility, and the destruction of identified locality will not lead to the extinction of protected species populations, their structure will be affected significantly.

The summary assessment of impacts for the three alternative options is shown in Table 3. Options 1 and 3 are not inconsistent with the IFC Standard 6 [8], since they imply lower environmental risks for rare species and provide the long-term monitoring of dynamic parameters.

Table 3. Summary Assessment Matrix of Options Implementation

Impact	Recipient	Period of impact	Impact on the environment	Impact on the social sphere (social publicity)	Impact on the health of people
<i>Option 1</i>					
Indirect impact on natural habitats of protected species	Habitats of the protected species of lichens	Construction, operation (growing impact)	Major impact (4 points)	Slight impact (1 point)	No impact (0 points)
Indirect impact on protected species	Protected species of lichens	Construction, operation (growing impact)	Major impact (4 points)	Slight impact (1 point)	No impact (0 points)
<i>Option 2</i>					
Loss of habitats of protected species	Habitats of the protected species of lichens	Construction	Massive impact (5 points)	Massive impact (5 points)	No impact (0 points)
Destruction of protected species	Protected species of lichens	Construction	Massive impact (5 points)	Massive impact (5 points)	No impact (0 points)
<i>Option 3</i>					
Loss of habitats of protected species	Habitats of the protected species of lichens	Construction	Massive impact (5 points)	Massive impact (5 points)	No impact (0 points)
Impact on protected species	Protected species of lichens	Operation (no direct impact)	Slight impact (1 point)	No impact (0 points)	No impact (0 points)

Based on the analysis of possible alternative options, conservation of species *in situ* by translocation appears to be the optimal method in case of habitat loss. If this option is implemented, individual lichens will not be destructed even though their habitat is collapsed. There are some environmental risks in this option; the scarce experience of such projects implementation makes it difficult to assess the productivity and efficiency of translocation. If the results prove to be positive, this technique can be used during construction and reconstruction of industrial and infrastructure facilities. Similar conditions of microhabitats (substrate, microclimate and consortium links) in the donor and recipient sites will improve the translocation efficiency.

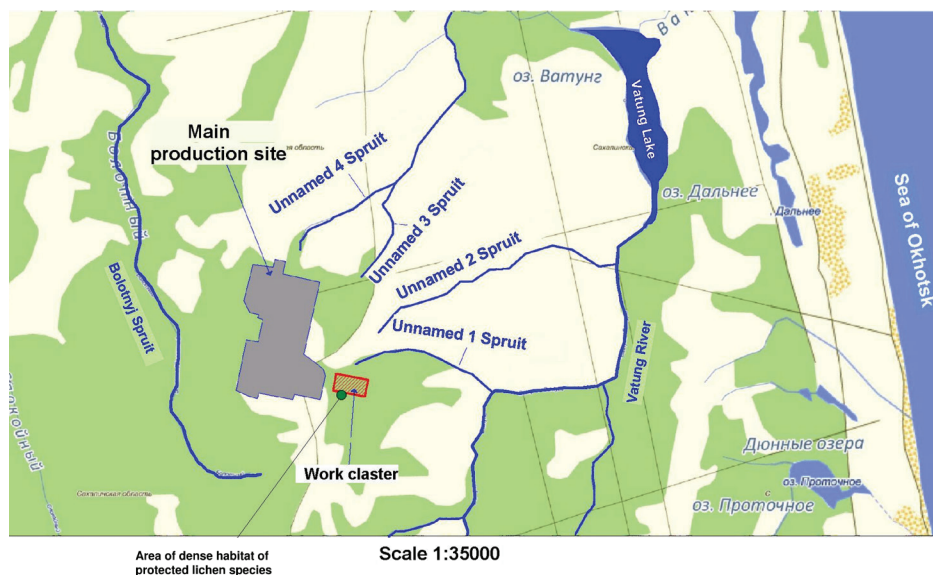


Fig. 1. Review scheme

## Conclusion

The developed technology of lichen translocation allows conserving the protected lichen species in natural habitat. The translocation procedure is not inconsistent with the IFC Standard 6 [8] and current regulations of the Russian Federation regarding the protection of biological diversity, since it implies lower environmental risks for rare species and provides a long-term monitoring of dynamic parameters. This technology will conserve the individual rare lichens transferred to similar biotopes, while the factor of the negative impact can be mitigated. This makes translocation a promising technology that may be used for negative impact mitigation in the areas of human-induced transformation of habitats.

## References

- [1] Federal Law from 29.12.2004 # 190FZ «Urban Development Code of the Russian Federation» (on 23.07.2013) (In Russian).
- [2] Set of Rules 47.13330.2012. Engineering Surveys for Construction. Main Provisions. Revised Edition. Construction Standards and Regulations 110296. Approved by Federal Agency for Construction, Housing and Utilities, Order # 83/GS, from 10.12.2012 (In Russian).
- [3] Set of Rules 1110297 Engineering and Ecological Surveys for Construction, 1997. M. : Gosstroy Rossii (In Russian).
- [4] Convention on Biological Diversity, Rio de Janeiro, 05.07.1992. Signed by Russian on 13.06.1992, ratified Federal law # 16FZ from 17.02.1995.
- [5] *Global Strategy for Plant Conservation*, 19.04.2002. URL: [http:// www.cbd.int/gspc/default.shtml](http://www.cbd.int/gspc/default.shtml) (date: December 2013).
- [6] *FSC Principles and Criteria of Forest Stewardship* FSCSTD01001 V50 D49. URL: <http://igi.fsc.org/download.fscpcv5withexplanatorynotes.15.pdf>.
- [7] Anderson Sh., 2003, *Identification of main botanical territories: A guide for choosing sites in Europe and base for developing these rules worldwide*. M., 39 p.
- [8] *Performance Standards on Environmental and Social Sustainability*. International Finance Corporation, World Bank Group. Ver. January 1, 2012.

- [9] Federal Law from 10.01.2002 # 7FZ «On the Protection of the Environment» (on 22.07.2013) (In Russian).
- [10] Federal Law from 04.12.2006 # 200FZ «Russian Forestry Code» (on 28.07.2012) (In Russian).
- [11] Order of Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation # 323 «On Approval of Strategy for Preservation of Rare and Endangered Animal, Plant and Fungus Species», from 06.04.2004 (In Russian).
- [12] *IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2013.1. URL: <http://www.iucnredlist.org>.
- [13] Convention on Conservation of Wild Fauna and Flora and Natural Habitats in Europe, Berne, 19.09.1979.
- [14] Decree of the Russian Federation Government # 158 «About the Red Book of the Russian Federation», from 19.02.1996 (In Russian).
- [15] Order of State Committee for Environmental Protection of the Russian Federation # 419a «On Ratification of Russian Federation Red Book Rules of Order», from 03.10.1997 (In Russian).
- [16] Federal Law from 13.06.1996 # 63FZ «Criminal Code of the Russian Federation on Administrative Violations» (on 01.09.2013) (In Russian).
- [17] Federal Law from 30.12.2001 # 195FZ «Administrative Violations Code of the Russian Federation» (on 30.09.2013) (In Russian).
- [18] Order of Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation # 658 «On the Approval of Scales for Calculation of Damage Extent Caused to Russian Red Book Plant World and its Habitat Caused by Breach of Environment and Natural Resource Management Legislation», from 01.08.2011 (In Russian).
- [19] Russian Red Book: *Plants and Fungus*, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation; Federal Service for Supervision over Natural Resource Management; Russian Academy of Sciences; Russian Botanic Society; Moscow State University; Main editorial board: Yu.P. Trutnev et al.; Content by R.V. Kamelin et al. M. : Partnership of Scientific Publication KMK. 2008. 855 p. (In Russian).
- [20] Sakhalin Region Red Book. Plants, Editorinchief V.M. Eremin (YuzhnoSakhalinsk: Sakhalinskoe Knizhnoe Izdatelstvo). 2005. 348 p. (In Russian).
- [21] *Field Geobotany*, Editorship E. M. Lavrenko, A.A. Korchagina. M.; L. : Izd. AS USSR. Vol. 1–5. 1959/1976. 2291 p. (In Russian).
- [22] *USSR Lichen Field Guide*. L. : Nauka. 1974. № 2. 283 p. (In Russian).
- [23] Kravchenko M.V., Bogolyubov A.S. *Lichen community description methodology*. M. : Ecosystema, 1996, 24 p. (In Russian).
- [24] Corporate Standard: Impact Assessment Procedure, 0000S9004P712700E, edited 01. 2013, Sakhalin Energy Investment Company, Ltd. (In Russian).
- [25] Corporate Standard: Risk Management Procedure / эффектами и оценка экологических аспектов и воздействий, 0000S9004O000900R, edited 01. 2013, Sakhalin Energy Investment Company, Ltd. (In Russian).
- [26] Corporate Standard: Biological Diversity, 0000S9004O025900, 2013, Sakhalin Energy Investment Company, Ltd. (In Russian).
- [27] Krestov P.V., Barkalov V.Yu., Taran A.A. *Botanical and geographical zoning of Sakhalin. Sakhalin flora and fauna*. Materials of International Sakhalin Project. Vladivostok, 2004, p. 67–90.
- [28] Bakalin V.A., Pisarenko O.Yu., Chernyadieva V.Ya. *Brioflora of Sakhalin*. Vladivostok : Izd. dom of Maritime State University, 2012. 310 p.
- [29] Gorbunov Yu.N., Dzybov V.S., Kuzmin Z.E., Smirnov I.A. *Guidance notes for rare and endangered species reintroduction*. Tula : Grif and K, 2008, 56 p. (In Russian).
- [30] Valee L. et al. *Guidelines for the translocation of threatened plants in Australia*. Second edition. Australian network for Plant Conservation (Australia, Canberra). M., 2004, 80 p.
- [31] Methodology of Rehabilitation of Translocated Plants and Animals in Danger Due to Direct Negative Impact in Mountainous and Plain Territory on Site of XXII Olympic Winter Games and XI Paralympic Winter Games 2014 in Sochi. Approved by Direction #10p of Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, from 28.04.2010 (In Russian).
- [32] Korovin S.E., Kuzmin Z.E., Trulevich N.V., Shvetsov A.N. *Plant transition: technical approach*. M. : MSKhA, 2001. 75 p. (In Russian).
- [33] Akeroyd J.R. and Jackson P.W. *A Handbook for Botanic Gardens on the Reintroduction of plants to the wild*. UK : BGCI, 1995. 29 p.

- [34] Nemchinova A.V., Ivanova N.V. Ways to manage population of *Lobaria pulmonaria* during forest use. Regions in Unstable Development: Materials of International Research Conference «*Regions in Unstable Development*», KostromaSharya, April 2830, 2010. Kostroma : KSU, 2010, № 2, p. 203–205 (In Russian).
- [35] Gilbert O.L. *A successful transplant operation involving Lobaria amplissima* // Lichenologist. 1991. Vol. 23, № 01, p. 73–76.
- [36] Scheidegger C. and Goward T. Monitoring lichens for conservation. *Red Lists and conservation action plans*. Monitoring with lichens – monitoring lichens / eds. L. Nimis, C. Scheidegger, Wolseley P. Dordrecht (Netherlands: Kluwer Academic Publishers), 2002, p. 163–182.
- [37] Pystina T.N. *Something about Lichens and Not Only*. 2013. URL: <http://ib.komisc.ru/add/old/t/ru/ir/vt/0148/10.html> (In Russian).
- [38] McCune B., Derr C.C., Muir P.S., Shirazi A., Sillett S.C. and Daly W.J. *Lichen pedants for transplant and growth experiments*. Lichenologist. 1996. Vol. 28, № 01, p. 161–169.
- [39] *IUCN Guidelines for Reintroductions*. Prepared by the IUCN/SSC Reintroduction Specialist Group. IUCN, Garland, Switzerland and Cambridge, UK, 1998.
- [40] Rare Species of Plants, Animals and Fungus of Forest Ecosystems on the Territory of Arkhangelsk Region and Recommendation for Their Conservation / editorinchief E.A. Rai, E.V. Shavrin. Arkhangelsk : PTU, 2005, p. 45.

---

## About

**Andrey N. Efremov** – Design Institute for Oil and Gas Projects Construction and Rehabilitation, Omsk, Russia. E-mail: [stratiotes@yandex.ru](mailto:stratiotes@yandex.ru)

**Natalya V. Plikina** – PhD, Assistant professor, Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia. E-mail: [tele-text@yandex.ru](mailto:tele-text@yandex.ru)

Научный журнал

**BioClimLand**

**№ 2 2013**

Редактор К.В. Полькина  
Оригинал-макет Л.Д. Кривцова  
Дизайн обложки Вячеслав Шведов

---

Подписано в печать 15.06.2013. Формат 70х108 1/16.  
Печ. л. 4,25, усл. п.л. 3,9. Тираж 250. Заказ 540.

---

Журнал отпечатан на оборудовании Издательского Дома  
Томского государственного университета  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, тел. 8+(382-2) 53-15-28