

ЭКОЛОГИЯ

УДК 551.510+556.5

**И.И. Волкова¹, И.В. Волков², Н.П. Косых², Н.П. Миронычева-Токарева²,
Л.В. Кирпотина¹, В.А. Земцов¹, М.В. Колмакова^{1,4}, А.В. Кураев⁴,
Е.А. Захарова⁴, С.Н. Кирпотин¹**

¹Томский государственный университет (г. Томск)

²Томский государственный педагогический университет (г. Томск)

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск)

⁴Университет Тулузы (г. Тулуза, Франция)

E-mail: kirp.tsu.ru

ГОРНАЯ ОЗЕРНО-БОЛОТНАЯ СИСТЕМА УРОЧИЩА ЕШТЫКЁЛЬ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Исследование выполнено при финансовой поддержке
CAR-WET-SIB «Biogeochemical cycle of carbon in wetlands of Western Siberia»
GDRI (Groupement de recherche international) project, РФФИ (гранты
08-04-92496-НЦНИЛ_а, 08-05-92496-НЦНИЛ_а, 08-05-92501-НЦНИЛ_а)
и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
на 2009–2013 гг. (Государственный контракт № 02.740.11.0325)

Аннотация. Дана комплексная ландшафтно-экологическая характеристика уникальной озерно-болотной системы урочища Ештыкёль Горного Алтая. В частности, охарактеризованы криогенные и продукционные процессы, а также гидрохимические показатели. Отмечены высокие индикационные свойства мерзлых бугристых болот высокогорий в контексте климатических изменений. Выявлены общие тенденции криогенных процессов в равнинной части субарктики Западной Сибири и высокогорьях Алтая, связанные с новейшей динамикой климата. Показано, что в силу компактности болотных массивов высокогорий термокарстовые процессы в них протекают более интенсивно, чем на обширных равнинных пространствах.

Ключевые слова: горные болота; климат; термокарст; продукция; цикл углерода.

Горные болота Алтая как индикаторы климатических изменений

Болотные экосистемы чутко реагируют на изменения климата. Проведенные нами исследования [1–5] выявили прогрессирующее таяние мерзлых торфяников на севере Западной Сибири, связанное с глобальными климатическими изменениями. При смене климата меняются многие характеристики и параметры болот, например размеры болотных массивов, характер гидрографической сети, обводненность, степень развития мерзлоты, скорость накопления торфа и его состав. Изменяется и растительный покров: происходят

смена одних сообществ другими и экспансия чужеродных для болот видов (в том числе сорных растений) из окружающих ландшафтов. Особенно четко эти изменения проявляются в горах, где болотные массивы чаще всего относительно невелики по размерам, сильно зависимы от окружающей климатической обстановки и чувствительны к антропогенному воздействию [6, 7], в отличие от обширных болот равнин Сибири, которые имеют гораздо большую «буферную емкость» и автономность в плане подверженности колебаниям климата и другим влияниям извне. При этом горные болота юга Западной Сибири по сравнению с обширными болотами равнинной ее части изучены явно не достаточно. Исследование динамики болотных экосистем в связи с современной динамикой климата гор юга Западной Сибири является пионерным; впервые такое исследование было проведено на равнинной территории Западной Сибири [8].

Болота являются не только индикаторами процессов изменения климата, но и сами играют в этом процессе большую роль, определяя баланс парниковых газов в атмосфере. Исследование болот в последние годы приобрело особую актуальность, что связано с пониманием громадной роли болот в цикле углерода и, следовательно, в поддержании стабильности биосферы в условиях нарастающего техногенного влияния и изменений климата. Предпосылкой к появлению данного исследования послужили сделанные нами ранее наблюдения разной направленности процессов развития болот Западной Сибири – от стремительно прогрессирующих процессов заболачивания на равнинных пространствах таежной зоны и таяния мерзлых бугристых болот лесотундры до быстрой деградации болотных массивов в аридном Юго-Восточном Алтае, что в целом соответствует закону Воейкова: когда в ходе изменений температур на севере начинает теплеть, в более южных районах климат становится более засушливым.

Особенностью болотного процесса в равнинной зоне лесотундры Западной Сибири в последнее время является сдвиг динамического равновесия циклов промерзания и протаивания болотных территорий в сторону преобладания таяния мерзлоты, что получило название «обвального термокарста» [1–5]. В результате исследования выработана общая схема спуска термокарстовых озер, которая в дальнейшем может быть использована как модель динамики озерно-болотного ландшафта Западной Сибири, связанной с процессами климатических изменений. Этот процесс устойчив и имеет положительную динамику, что свидетельствует об однонаправленном изменении мерзлотных экосистем Субарктики.

В связи с исследованиями субарктических мерзлотных болот особый интерес представляют сравнительные исследования мерзлотных горных болот юга Западной Сибири. Мерзлые болота имеют достаточно широкое распространение в Горном Алтае. Они приурочены чаще всего к крупным межгорным котловинам, обычно связаны с долинами рек, петляющих по плоскому днищу котловин, обязательным при этом является наличие мерзлых грунтов, выступающих водоупорами. Мерзлота может быть сплошной либо прерывистой, с таликами либо, наоборот, представлять собой линзы льда в грунте. Сами грунты мерзлых болот могут быть минеральными или торфяными.

Наибольшие площади мерзлых болот обнаруживаются в Тюгурюкской котловине, есть они в Чуйской степи (точнее – Кокоринская степь, болото Ару), урочищах Ештыкёль и Ештыкол (Северо-Чуйский хребет) и др. Нередки мерзлые болота и на плоских горных вершинах и седловинах, например крупный болотный массив у г. Саганы на северных отрогах хребта Иолго в Северном Алтае. Мерзлые болота Горного Алтая обычно расположены в верхней части лесного пояса или в высокогорьях.

Расположение мерзлых болот в различных горных ландшафтах Алтая определяет направленность и степень их изменения в связи с климатическими процессами. При изучении болотных систем, расположенных в аридных котловинах Алтая, закономерно наблюдаются тенденции уменьшения обводненности ландшафтов, сокращения площадей болотных массивов, деградации торфяной залежи и изменения растительности в сторону повышения роли нетипичных для болотных местообитаний видов и сообществ растений. Причем эти процессы имеют значительные масштабы. Так, при исследовании болота Ару в Юго-Восточном Алтае обнаружено, что в условиях современных изменений климата оно показывает устойчивую тенденцию к уменьшению размеров. Его бывшие границы можно с достаточной точностью установить по границам распространения бугров мерзлотного пучения, сопровождающих выход грунтовых вод (рис. 1). Болота быстро сокращают свои площади не только в аридных районах юга Западной Сибири, но и в Монголии [9].



Рис. 1. Ландшафтная граница болота Ару и степи в Юго-Восточном Алтае (фото И.В. Волкова)

Для горных мерзлотных болот Алтая исследования также показали усиление процессов деградации мерзлых торфянистых и минеральных грунтов, формирование специфических форм микрорельефа, обусловленных процессами термокарста, – образование термокарстовых западин, образование новых озерковых комплексов (рис. 2), увеличение площадей внутриболотных водоемов. Исследования мерзлотного болота, расположенного вблизи верхней границы леса у г. Саганы в северных отрогах хребта Иолго (Северный Алтай), и

горной болотной системы мерзлых болот в урочище Ештыкол (Северо-Чуйский хребет) показали, что процессы термокарста в настоящее время имеют однонаправленный постепенный характер, который не ведет к сильной деградации болотных систем, хотя наблюдается минерализация наиболее крупных болотных кочек и мерзлотных бугров (рис. 3). С другой стороны, таяние мерзлоты и усиление обводненности горных болот ведут к усилению стока вод, что в дальнейшем, из-за горных форм рельефа, благоприятствующих стоку, может способствовать обсыханию горных торфяников.



Рис. 2. Прогрессирующее таяние мерзлоты в болоте (окрестности горы Саганы, Северный Алтай) (фото И.В. Волкова)



Рис. 3. Минерализация мерзлотных бугров, происходящая вслед за таянием линзы льда в результате подтопления (болото Ештыкол, Северо-Чуйский хребет, Алтай) (фото И.В. Волкова)

Озерно-болотная система Ештыкёль: ландшафтно-экологическая характеристика

В августе 2009 г. с целью детального изучения изменений, происходящих в озерно-болотных системах, нами проведено комплексное ландшафтно-экологическое исследование района (рис. 4), расположенного в Горном Алтае, на северо-востоке от хребта Биш-Иирду, у подножья Северо-Чуйского хребта в заболоченной местности урочища Ештыкёль вблизи р. Чуи, пересекающей Курайскую межгорную котловину с юго-востока на северо-запад. На юге Курайская котловина обрамлена Северо-Чуйским хребтом, а на севере – Курайским.

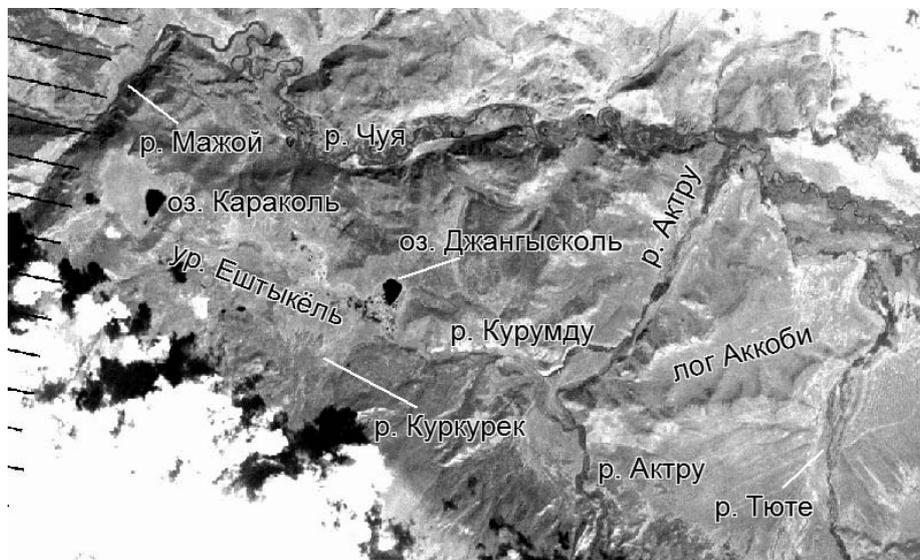


Рис. 4. Район исследования. Снимок спутника Landsat, сенсор ETM+, панхроматический канал (разрешение 14,25 м), 16 августа 2009 г. 9 ч 50 мин

Климат территории характеризуется континентальным режимом. Лето короткое и засушливое, а зима продолжительная и суровая с незначительным снежным покровом. Количество выпадающих осадков составляет 100–150 см в год, максимум которых приходится на летнее время года. Зимы здесь особенно суровые (абсолютный зарегистрированный минимум -62°C), а высотные температурные инверсии являются причиной возникновения здесь прерывистой толщи многолетнемерзлых грунтов [10].

Рельеф исследованной территории представлен повышенными участками (иногда осложненными буграми пучения) и пониженными – просевшими участками, относительные высоты которых изменяются от 1 до 6 м. К пониженным участкам приурочены округлые, продолговатые, лопастной формы, чаще замкнутые озера размером от 20×100 м, иногда связанные между собой протоками; с преобладающими глубинами от 1–2, реже до 3 м (ино-

гда с локальными провалами на дне до 5–6 м), одним из которых является оз. Джангысколь (с глубиной 2–2,5 м), окруженное низинным осоково-зеленомошным мерзлым болотом. Площадь озера (по данным снимка Landsat от 16 августа 2009 г. (рис. 4) составляет 0,19 км². Озеро имеет ледниково-подпрудное происхождение. Оно было образовано ледником, который выходил из долины р. Курумду и запруживал сток рек от ледников западной части северного склона Северо-Чуйского хребта. В результате образовалось озеро, которое занимало котловину урочища Ештыкель. Остатками этого озера и являются оз. Джангыскель и Караколь, на западе котловины. Озеро окружено комплексом мерзлых бугров, высота которых составляет 3–6 м. Джангыскель имеет небольшой приток на западе, с помощью которого оно сообщается с р. Куркурек через комплекс мерзлых бугров [10].

В ландшафтно-экологическом плане урочище представляет собой комплекс озер, болотистых лугов, болотных участков и мерзлотных бугров, развитие которых значительно зависит от состояния подстилающих мерзлых грунтов, служащих не только водоупорным горизонтом, но и, при условии подтаивания, источником дополнительной грунтовой влаги и, как следствие, переувлажненности территории застойной водой. Это является одним из важнейших факторов, способствующих развитию болотообразовательного процесса в пределах урочища. Дополнительным благоприятным фактором для болотообразования и переувлажнения территории, находящейся в целом в условиях аридного климата, являются пологие невысокие склоны холмов, окружающие плоское днище котловины урочища.

Особое внимание мы уделили низинному осоково-зеленомошному мерзлотному болоту, окружающему крупнейшее озеро – Джангыскель в восточной части урочища.

Болото урочища Ештыкель располагается на высоте 1750 м над ур. м. Поверхность болота слабокочковатая, рыхлыми осоково-моховыми кочками высотой до 30 см занято около 60% поверхности, остальное приходится на межкочечные понижения. Уровень болотных вод в августе 2009 г. находился на 5–10 см ниже поверхности понижений (около озерков – 20 см). Торфяная залежь болота сложена перенасыщенным водой рыхлым осоково-зеленомошным торфом, отражающим в верхних горизонтах состав современной растительности (аулакомниум-торф) и мерзлым с глубины 20–30 см (в обводненных понижениях – до 40). Общая мощность торфа превышает 100 см.

В растительном покрове доминируют осоки и зеленые мхи. Элементы микрорельефа поверхности болота различаются только моховым покровом (так, *Drepanocladus* встречается более обильно в понижениях), а состав трав везде вполне однороден. К повышению тяготеют кустарнички (*Salix rosmarinifolia*, *Betula fruticosa*, *Pentaphylloides fruticosa*, *Salix myrtilloides*) высотой 50–100 см, при этом каждый из видов дает не более 1% проективного покрытия. Доминируют в составе травяно-кустарничкового яруса осоки (наиболее обильна *Carex rostrata*, чуть меньше – кочкообразующая *Carex juncella*, им сопутствуют *Carex dioica* и *Carex canescens*). Пятнами на общем фоне встречаются сообщества с преобладанием сабельника *Comarum palustre*, который имеет высоту всего 10 см, и его красные в августе листочки, стелясь по по-

верхности мха, покрывают до 50–75% поверхности такого сообщества. В качестве сопутствующих видов нами отмечены виды альпийских лугов и горных болот Алтая *Parnassia palustris*, *Swertia obtusa* (тяготеющая к окрайке болота), *Saxifraga hirculis*, *Stellaria crassifolia*, *Polygonum viviparum*. В целом, травяно-кустарничковый ярус сообществ имеет среднюю сомкнутость, общее проективное покрытие его составляет около 50%.

Напротив, моховый ярус покрывает болотную поверхность сплошь (ОПП 100%). В его составе абсолютно господствует *Aulacomnium palustre*, покрывающий до 75% поверхности, довольно заметна роль *Paludella squarrosa*, *Bryum* sp. (видовую принадлежность которого установить нам не удалось); нередко *Tomentypnum nitens*, *Pohlia nutans*, *Drepanocladus aduncus*, *Calliergon richardsonii* и *Straminergon stramineum*, *Drepanocladus polygamus*, *Brachythecium mildeanum* и *Sciurohypnum latifolium* (нахождение последнего как редкого на Алтае вида весьма интересно, однако требует подтверждения), реже встречаются *Bryum caespiticium*, cf *Amblystegium serpens*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, печеночник *Cephaloziella hampeana*.

В воде мелких озерков обитают водяная сосенка, рдест плавающий, пузырчатка. В оз. Джангызкель из этих представителей водной флоры обнаруживается только рдест, непосредственно у берега. Окрайки всех озер и озерков обрамлены мономинантными сообществами *Carex rostrata*, она же покрывает вымочки.

По периметру болота обрамлено кустарниковыми зарослями из *Pentaphylloides fruticosa* с заметным участием *Salix myrtilloides*.

На поверхности болота наблюдаются четкие следы мерзлотного пучения грунта, обозначенные пятнами сухой осоки диаметром от 10 до 50 м (рис. 5).

В южной части урочища на окраине болота располагаются мерзлые бугры (пинго) высотой 2–6 м (рис. 6), о происхождении которых, равно как и реконструированную историю оз. Джангызкель, можно прочитать в детальной статье [10]. Бугры не торфяные, они сложены гиттией. Слои пылевидного в сухом состоянии светло-серого глинистого вещества наполнены корешками осок, они составляют до 5% объема вещества слоев гиттии бугров и являются остатками растительности, участвовавшей в зарастании крупного морено-подпрудного палеозера, некогда занимавшего территорию урочища Ештыкель (рис. 7).

Этот кластер мини-пинго, как их назвали в статье [10], компактно представленный на весьма ограниченной площади, а потому необыкновенно чувствительный к любым климатическим трендам, являет собой ярчайший пример криогенной динамики бугристых комплексов [2, 3, 5]. Т.А. Blyakharchuk с соавт. [10] обсуждают возможность циклического в целом развития бугристо-западинного комплекса в окрестностях оз. Джангызколь, в котором, в зависимости от климатических трендов, преобладают то процессы мерзлотного пучения, то термического карста, то наблюдается их относительное динамическое равновесие. Современная климатическая обстановка, несомненно, способствует резкому усилению термокарстовой активности в пределах комплекса (рис. 8), что хорошо согласуется с отмеченным нами ранее «обвальным термокарстом» равнинных территорий лесотундры. Так, анализ материалов дистанционного зондирования за период с 1952 по 2007 г. [11] по-

казал устойчивое увеличение на 52% площадей термокарстовых озер в пределах озерно-болотного комплекса Джангызколь, при этом отмечено появление новых обводненных просадок и озерков на фоне расширения акваторий более старых. Показатели термокарстовой активности заметно превосходят таковые для равнинных территорий лесотундры, где озера с начала 1970-х гг. по данным дистанционного мониторинга увеличили свои акватории примерно на 10–12% [3, 5], что, по-видимому, связано с большей контрастностью микроклиматических условий высокогорных местообитаний (в ряде случаев усиливающих климатические тренды равнин) и компактностью самих болотных массивов высокогорий.



Рис. 5. Зарождающиеся бугры пучения, обозначенные пятнами сухой «выпученной» осоки (фото С.Н. Кирпотина)



Рис. 6. Система мерзлотных бугров (мини-пинго) и термокарстовых воронок в южной части озерно-болотного комплекса (фото Ю.М. Полищук)



Рис. 7. Светло-серая пылевидная гиттия мерзлых бугров
(фото С.Н. Кирпотина)



Рис. 8. Глубокие термокарстовые воронки с крутыми бортами
(фото С.Н. Кирпотина)

В целом, характер растительности болота, окружающего оз. Джангызкель, показывает отсутствие тенденций деградации болотного комплекса. Вероятно, в связи с таянием мерзлоты идут процессы обводнения болота, чему способствует котловинный характер вмещающего его рельефа.

Характеристика биологических процессов болотного массива урочища Ештыкель

Для определения биологической продуктивности горного болота Ештыкель был сделан отбор проб в наиболее типичных его участках с учетом ха-

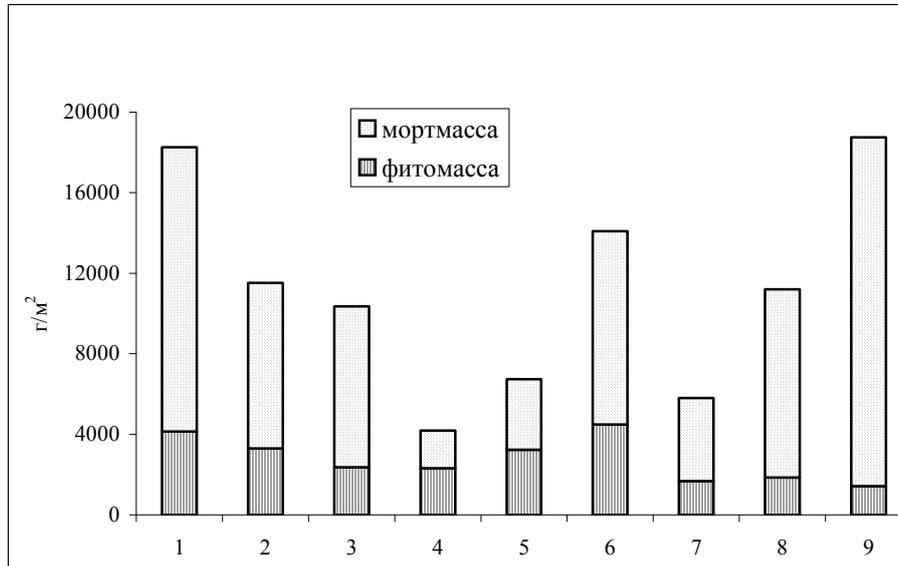
рактера микрорельефа. На выделенных площадках послойно отбирали пробы растительного вещества до глубины 30 см. Кустарнички и травы срезали с площадок размером 40×40 см, мхи вместе с корневыми системами трав и кустарничков вырезали пробоотборником объемом 1 дм³. В лабораторных условиях отобранные образцы разделяли на следующие фракции: фотосинтезирующие части трав, кустарничков, мхов, однолетние, многолетние побеги кустарничков, живые и мертвые подземные органы трав и кустарничков, погребенные стволы. Чистая первичная продукция (NPP) складывалась из продукции надземной фитомассы трав, кустарничков и мхов (ANP) и продукции подземных органов (BNP). Надземная продукция трав определяется фракцией фотосинтезирующей фитомассы. Надземная продукция кустарничков состоит из побегов текущего года с растущими на них листьями [12]. Продукцию зеленых мхов определяли по методике годового прироста [13]. Продукцию подземной части осок, пушиц, трав и кустарничков определяли по приросту текущего года корней, корневищ и узлов кущения [14].

Общие запасы растительного вещества осокового болота Ештыкёль составляют 18258 ± 4000 г/м² и близки по запасам к кустарничково-зеленомошно-лишайниковому сообществу лесотундры на сухой и холодной вершине водоразделов Западной Сибири и гор Хибин. Минимальные запасы растительного вещества отмечены для осоковых болот Тянь-Шаня и составляют 4200 г/м² [15].

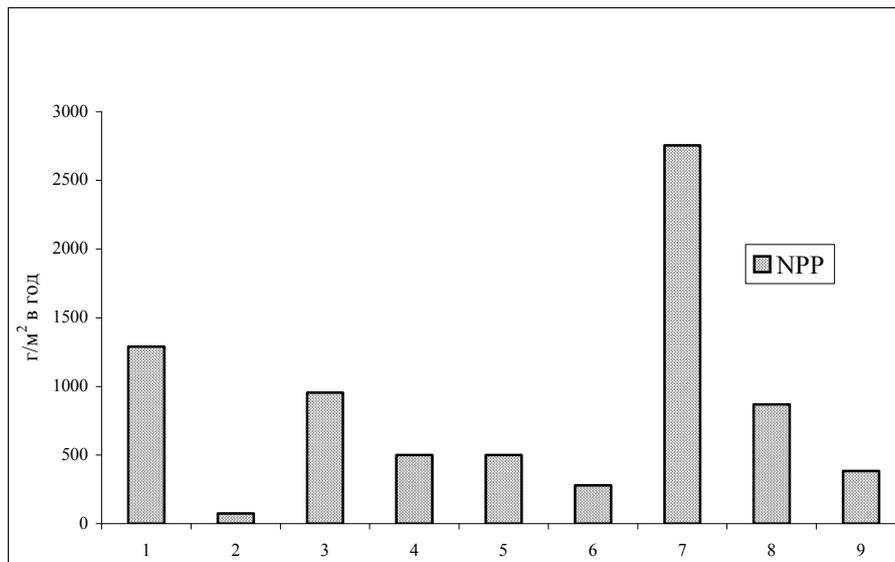
Мертвое растительное вещество, или мортмасса (M), составляет 77% от общего запаса растительного вещества. Преобладание мортмассы над живым растительным веществом отмечается для всех болотных экосистем. Исключение составляет осоковое болото Тянь-Шаня, в нем живое растительное вещество преобладает. Преобладание мортмассы в 2–3 раза над живой частью растительности говорит о замедленном разложении растительных остатков в осоковых растительных сообществах в горах (рис. 9). Вклад надземной мортмассы в общий ее запас составляет всего 5–10% и в основном образуется из ветоши и подстилки сосудистых растений. Причем запас ветоши осок и пушиц преобладает над запасом подстилки из-за быстрого ее разложения и минерализации.

К факторам, влияющим на величину накопления мортмассы, можно отнести низкие температуры и близость мерзлоты, которая регистрируется на глубине 40 см. При сравнении запасов мортмассы болота Ештыкёль с болотами лесотундры и лесостепи можно сказать, что она в три раза выше, чем в районе осоковых болот лесостепной зоны, и приближается к запасам лесотундры (рис. 9).

Живое растительное вещество, или фитомасса (F), в исследуемой экосистеме составляет 4143 ± 656 г/м². Минимальные запасы живого растительного вещества в осоковых болотах (1680 г/м²) отмечаются для низинных болот лесостепи [22] и значительно возрастают в евтрофных низинных болотах высокогорий, несмотря на близость мерзлоты. Большая часть фитомассы (88%) создается подземными органами осок, значительная часть которых представлена узлами кущения и корневищами. Запасы зеленых мхов составляют всего 8% от общих запасов фитомассы.



а



б

Рис. 9. Изменение растительного вещества (а) и чистой первичной продукции (б) в болотных экосистемах: 1 – горное осоково-зеленомошное болото Ештыкёль, Горный Алтай; 2 – горное осоковое болото, Путоран (по: [16]); 3 – осоковое болото, Воркута (по: [17]); 4 – горное осоковое болото, Тянь-Шань (по: [15]); 5 – горная тундра, Кольский полуостров (по: [18]); 6 – горная тундра, Хибины (по: [19]); 7 – светлухово-осоковое болото, лесостепь Западной Сибири (по: [20]); 8 – осоковое болото (хасырей); 9 – бугры плоскобугристого болота, лесотундра Западной Сибири (по: [21])

Фотосинтезирующая часть трав составляет всего 5%. По запасам живой фитомассы осоковые болота относятся к очень высокой категории запаса. Надземная фитомасса Ештыкёль составляет 430 г/м^2 , подземная – 3700 г/м^2 , по структуре и запасам приближая их к группе высокогорных влажных лугов, запасы которых составляют для Восточного Саяна $1060,3 \text{ г/м}^2$ [23], для высокогорных альпийских ценозов Карпат надземная фитомасса равна $200\text{--}350 \text{ г/м}^2$, подземная – $1000\text{--}1500 \text{ г/м}^2$ [24], для лугов Большого Кавказа надземная – 200 г/м^2 , подземная – 2910 г/м^2 [26], для субальпийских лугов Малого Кавказа запасы надземной фитомассы составляют $200\text{--}500 \text{ г/м}^2$, подземной – $2500\text{--}3387 \text{ г/м}^2$ [26].

Запасы зеленой фитомассы трав и кустарничков составляют $66 \pm 20 \text{ г/м}^2$ и в основном формируются осоками. Запасы фитомассы многолетних частей кустарничков незначительны. Годичные побеги могут составлять 12% от фитомассы многолетних частей кустарничков и составляют около 1 г/м^2 . Запасы зеленой фитомассы мхов изменяются в пространстве. Наибольшие запасы наблюдаются на повышенных элементах рельефа на небольших кочках-клумбах и составляют около 900 г/м^2 . В понижениях наблюдаются минимальные запасы – 52 г/м^2 . В среднем запасы зеленых мхов довольно высоки, так же как и их абсолютные значения. Но при этом доля их в общих запасах живой фитомассы довольно низкая и не превышает 10%.

Чистая первичная продукция осокового болота составляет $1285 \pm 142 \text{ г/м}^2$ в год при запасах живой фитомассы 4143 г/м^2 и определяется составом растительного сообщества (рис. 9, б). Продукция достигает максимальной величины из-за дополнительного притока питательных веществ со склонов гор. Продукция подземной фитомассы составляет 80% от общей продукции и создается, в основном, подземными органами осок. Продукция мхов не превышает 150 г/м^2 в год и составляет 10–12%. Вклад надземной продукции не превышает 10%.

По литературным данным, продукция горных осоковых болот изменяется от 75 до 950 г/м^2 в год. В тундровых сообществах гор она не превышает 500 г/м^2 в год. На водоразделе Западной Сибири в осоковых болотах лесостепи продукция может иметь наибольшую величину – 2800 г/м^2 в год. На болотах лесотундры продукция изменяется от 380 до 870 г/м^2 в год. Наибольшей величины достигает в хасырях мезотрофных мочажин, минимальной продукции – на мерзлых буграх. Высокую продукцию (NPP) обеспечивает доминирование осок в растительном сообществе евтрофных болот [15–17].

Емкость биологического круговорота горных болот также высока и составляет 4100 г/м^2 . Интенсивность круговорота осоковых горных болот, т.е. количество органического вещества, проходящего за единицу времени, составляет 1280 г/м^2 в год.

Анализ полученных величин запаса и продукции растительного вещества показывает, что при высокой величине запасов растительного вещества большая доля мортмассы определяется близостью мерзлоты, что сближает болота высокогорий с болотами лесотундры, а по величине продукции экосистемы – с травяными болотами степной зоны. Высокое количество живой фитомассы определяется типом экосистемы, растительным сообществом, трофностью, составляет 4143 г/м^2 и близко по величине к запасам высокогорных альпийских лугов. Большая величина живой фитомассы обеспечивает

большую величину чистой первичной продукции. Эта величина меньше, чем на осоковых болотах лесостепи (2800 г/м² в год), но больше, чем на осоковых болотах лесотундры. При дополнительном притоке питательных элементов в горных котловинах их продукция становится особенно высокой. Основной вклад в продукцию дают подземные органы сосудистых растений и мхи. Вклад в величины надземной продукции трав и кустарничков незначителен. Так как в болотных экосистемах происходит замедление разложения растительных остатков и их захоронение в толще торфа, то мы наблюдаем многократное количественное преобладание мортмассы над живым растительным веществом даже в верхнем деятельном 30-сантиметровом слое, в котором и идут основные обменные процессы.

Соотношение полученных количественных характеристик биологической продуктивности, таких как отношение мортмассы к первичной продукции, отражающее скорость круговорота мортмассы, показывает, что средняя скорость круговорота мортмассы в экосистеме горных осоковых болот составляет около 11 лет. Такая же величина оборота мортмассы отмечается и для хасыреев лесотундры, на мерзлых буграх лесотундры круговорот замедляется до 45 лет. Таким образом, несмотря на высокие запасы мортмассы, которые близки к величинам, регистрируемым в лесотундре, значительная величина продукции приводит к ускорению круговорота мортмассы.

Физические, химические и биологические показатели качества вод озерно-болотной системы Ештыкёль

Для экспресс-измерения физических, химических и биологических показателей качества воды использован прибор YSI 6600 Sonde. Он оборудован датчиками атмосферного давления, температуры воды, глубины погружения прибора в воду, а также датчиками, позволяющими определить следующие показатели качества воды [27]: 1) растворенный кислород; 2) электропроводность; 3) удельная электропроводность; 4) солёность; 5) общее количество растворенных веществ; 6) электрическое сопротивление; 7) водородный показатель pH; 8) окислительно-восстановительный потенциал Eh; 9) мутность; 10) содержание хлорофилла. Зонд работает под управлением специализированного программного обеспечения YSI EcoWatch for Windows версии 3.18.00.

Остановимся подробнее на определении хлорофилла [27]. Хлорофилл в различных формах связан с живыми клетками водорослей, фитопланктоном и другим содержащимся в воде растительным веществом. Он является ключевым биохимическим компонентом в молекулярном аппарате, ответственным за фотосинтез. Количество хлорофилла в пробе воды используется для измерения концентрации взвешенного в воде фитопланктона, количество которого может существенно влиять на качество воды в целом.

Классический метод определения количества хлорофилла в определенном месте – это лабораторный анализ значительной по объему пробы воды. Процедура включает фильтрацию пробы для концентрации содержащих хлорофилл организмов, механическое разрушение собранных клеток и экстракцию

хлорофилла из них в органический растворитель, ацетон. Экстракт затем анализируется либо спектрофотометрическим методом, использующим известные оптические свойства хлорофилла, либо методом жидкостной хроматографии. Описанная процедура требует значительных затрат времени и дорогостояща. Она непригодна для экспресс-измерений. Используемый в приборе YSI 6600 Sonde датчик хлорофилла YSI 6025D Fluorescence Chlorophyll Probe основан на альтернативном способе измерения хлорофилла, который позволяет избежать указанных недостатков, хотя и с некоторой потерей точности. Хлорофилл определяется *in vivo*, без разрушения клеток и экстрагирования хлорофилла из них.

Ключевой характеристикой хлорофилла является его способность флуоресцировать, т.е. при направлении на него света с определенной длиной волны он испускает более длинные световые волны, несущие меньшее количество энергии. На свойстве флуоресценции хлорофилла и основан датчик для определения хлорофилла *in vivo*. Прибор посылает луч света с длиной волны 470 нм в воду, вызывает флуоресценцию хлорофилла и затем измеряет количество света с большей длиной волны, излучаемого в процессе флуоресценции. Датчик хлорофилла в приборе YSI Sonde периодически подвергается механической очистке, как и датчик мутности воды.

Данные измерений представляются программным обеспечением собственно в единицах флуоресценции (проценты полной шкалы, %FS) либо в мкг/л хлорофилла. В последнем случае для калибровки датчика хлорофилла необходимо использовать пробы с известным содержанием хлорофилла, определенными стандартными методами лабораторного анализа. В нашем случае калибровка датчика не производилась, поэтому концентрации хлорофилла в мкг/л нужно рассматривать как грубо приближенные.

Все измерения в водоемах урочища Ештыкёль проведены 13 августа 2009 г. в дневное время. Замеры осуществлялись с берега либо с резиновой лодки в основном в поверхностном слое воды. Результаты измерений показаны в таблице. Расположение точек наблюдений следующее. Точки 1 и 2 расположены в периферийной заросшей растительностью юго-восточной части озерно-болотного комплекса Джангысколь (болото). В точке 3 замеры произведены собственно в озере у его южного берега с торфяного бугра. Точка 4 расположена с противоположной, южной стороны торфяника в заполненной водой депрессии.

Точка 5 находится у южного берега оз. Джангысколь, а 6 – у противоположного северного берега. Глубина воды здесь составляет 0,5 м, дно в обоих случаях илистое, имеются заросли травяной растительности. Точка 7 расположена в южной части озера в отделенной от него неглубокой поросшей водной растительностью лагуне с чистой прозрачной водой. Измерения в точке 8 проведены также у южного берега озера в 5 м от кромки сплавины, покрывающей прибрежную часть его водной поверхности. Здесь распространены макрофиты, вода прозрачная.

**Данные измерений физических, химических и биологических показателей качества вод
в исследуемых водоемах криолитозоны**

Точка измерения	Температура воды*, °С	Удельная электропроводность*, мСм/см	Электропроводность*, мСм/см	Сопровождающее явление, кОм/см	Концентрация растворенных веществ, г/л	Соленость, ppt	Растворенный кислород*, % от насыщения на данной высоте местности	Растворенный кислород, концентрация, мг/л	Еh*, мВ	pH*	Мутность*, NTU	Хлорофилл*, % FS	Хлорофилл, мкг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
1	14,3	0,12	0,10	10,2	0,08	0,06	64,2	6,58	-90,2	6,57	3,40	2,35	9,84
2	9,4	0,11	0,08	12,7	0,07	0,05	37,4	4,29	-74,1	6,47	5,72	2,33	9,71
3	16,4	0,14	0,12	8,43	0,09	0,07	139	13,6	-65,8	6,98	2,25	1,53	6,49
4	13,6	0,04	0,03	210	0,03	0,02	131	13,7	-50,7	7,02	2,35	4,48	18,7
5	16,8	0,10	0,08	12,3	0,06	0,04	75,8	7,37	-93,9	7,94	896	8,58	35,8
6	15,9	0,08	0,07	15,5	0,05	0,04	119	11,8	-80,0	8,73	8,26	2,28	9,53
7	15,9	0,08	0,07	14,9	0,05	0,04	132	13,1	-78,5	9,28	0	0,83	3,50
8	15,7	0,08	0,06	15,8	0,05	0,04	130	12,9	-83,1	9,34	0	0,62	2,60
9	13,0	0,44	0,34	2,94	0,29	0,21	12,4	1,31	-200	8,27	16,4	21,6	90,1
10	14,1	0,47	0,37	2,69	0,31	0,23	79,8	8,21	-170	8,07	125	133	555
11	15,4	0,08	0,07	15,3	0,05	0,04	109	10,9	-92,1	9,03	8,21	1,13	4,66
12	4,6	0,24	0,15	12,1	0,16	0,12	109	14,1	-49,2	8,30	0	0,27	1,16
13	13,3	0,01	0,01	175	0,01	0,00	80,3	8,25	-33,3	8,47	3,55	1,40	5,85
14	17,2	0,02	0,02	62,0	0,01	0,01	56,3	5,32	88,7	8,39	25,3	50,4	210
15	20,3	0,03	0,03	36,8	0,02	0,01	141	12,7	-17,0	6,71	0	2,73	11,4

Примечания. * Величины, непосредственно измеряемые прибором; значения остальных характеристик определяются расчетным путем по данным измерений. В столбце 13 мутность NTU приведена в нефелометрических единицах мутности датчика 6136 [27].

Точки 9 и 10 взяты в двух небольших замкнутых водоемах, приуроченных к глубоким (до 5 м глубиной) термокарстовым депрессиям в пределах бугров пучения на южном берегу оз. Джангысколь. Точка 11 находится в середине озера, глубина которого здесь составляет 1,2–1,5 м. Показатели качества воды по глубине озера практически не меняются в связи с хорошим перемешиванием. Дно поросло редкими водорослями, илистое. Ил желтого цвета, вязкий и липкий. Видимая толщина ила составляет не менее 0,5 м.

Мощность таликовой зоны под озерами урочища Ештыкёль на превышает 1 м [28].

Таким образом, наблюдениями были охвачены следующие объекты озерно-болотной системы: 1) прибрежная заболоченная часть оз. Джангысколь (точки 1 и 2); 2) прибрежные участки основной акватории озера (точки 5, 6, 8); 3) лагуна – относительно изолированная часть озера (точка 7); 4) мелкие водоемы, расположенные в депрессиях на участке бугров пучения (точки 4, 9, 10); 5) центральная часть акватории озера (точка 11).

Для сравнения также 13 августа 2009 г. выполнены измерения показателей качества воды у берега оз. Сачки. Озеро расположено на правобережном склоне долины Актру на высоте около 2200 м, практически у верхней границы леса. Озеро питается водами ручья, стекающего с каменистого склона по осыпям и морене ледника Малый Актру. Точка 12 находится на берегу озера на территории альпинистского лагеря.

В таблице строки 13–15 относятся к озерам севера Западно-Сибирской равнины, данные по которым приведены также для сравнения. Координаты места расположения озер – 66° с.ш. и 75° в.д. Район исследований находится в Ямало-Ненецком автономном округе, между реками Пур и Надым, в зоне типичной лесотундры и тундры с ландшафтом мерзлых бугристых болот (пальзы), где наблюдается своеобразная «пульсация» поверхности, обусловленная взаимными переходами элементов ландшафта: мерзлый бугор – мочажина – термокарстовое озеро – спущенное озеро хасырей – молодой хасырей – старый хасырей [29], в зоне прерывной/сплошной многолетней мерзлоты с максимальной глубиной деятельного слоя 0,5–1,0 м. В точках 13–15 замеры проведены в поверхностном слое воды соответственно 29 июля 2009 г. в центре термокарстового озера, у берега зарастающего термокарстового озера с зарослями макрофитов в прибрежной зоне и 31 июля 2009 г. у берега водоема, расположенного на дне хасырея, где также хорошо развита растительность.

Анализ результатов измерений позволяет отметить следующее.

1. Практически все водоемы отличаются весьма низким содержанием растворенных в воде веществ. По этому показателю они относятся к ультрапресным. Самая низкая концентрация растворенных веществ наблюдается в озерах севера Западно-Сибирской равнины. Более высокая концентрация (160 мг/л) свойственна горному оз. Сачки. Небольшие водоемы, приуроченные к замкнутым депрессиям в пределах бугров пучения, содержат воды с еще большей минерализацией (~300 мг/л), относящиеся уже к категории пресных [30]. Это связано с накоплением солей в бессточных водоемах, откуда вода расходуется только на испарение.

2. Мутность воды небольшая, за исключением результатов измерений на мелководных участках, где иногда происходило взмучивание воды прибором, и на участках, отличающихся наиболее сильным развитием растительности, прежде всего фитопланктона.

3. Вода в большинстве случаев хорошо насыщена кислородом, чему способствуют ее относительно низкая температура, фотосинтез растений и благоприятные условия поступления кислорода из атмосферы, особенно при наличии ветрового перемешивания воды в мелководных озерах. Несмотря на довольно высокое содержание кислорода, геохимическая обстановка, как следует из отрицательных значений окислительно-восстановительного потенциала E_h , преимущественно восстановительная, что выглядит несколько парадоксально, учитывая значительное количество растворенного кислорода. Однако, как указывается в [31], восстановительные процессы в среде могут превалировать над окислительными даже при насыщении воды кислородом выше 100%, что объясняется наличием легкоразлагаемых веществ в воде и, соответственно, развитием в ней микроорганизмов, способствующих снижению окислительно-восстановительного потенциала.

4. Концентрация кислорода не достигает состояния насыщения в случаях, когда баланс кислорода вследствие протекающих биохимических процессов отрицательный. Наиболее низким содержанием кислорода и наиболее выраженной восстановительной обстановкой отличается вода в депрессиях бугров пучения, где в процессе измерений отмечался запах сероводорода.

5. По значениям рН воды находятся в диапазоне от нейтральных, близких к слабокислым (заросшие и заболачиваемые прибрежные участки водоемов, точки 1, 2, 15), до щелочных (рН от 8,5 до 9,5) в точках 5, 6, 7, 11.

6. О биологическом состоянии озера свидетельствует содержание хлорофилла, которое в большинстве случаев относительно невелико: менее 3–5% полной шкалы флуоресценции. Более высокое содержание хлорофилла отмечается в местах, где наиболее распространен фитопланктон, идут процессы зарастания, наблюдается заболачивание.

7. Содержание хлорофилла в поверхностном слое и толще воды достаточно велико [32], чтобы считать оз. Джандысколь эвтрофным.

8. Динамика эволюции озера направлена в сторону его дальнейшего эвтрофирования, чему способствует использование прилегающей к водоему водосборной площади для пастбищного животноводства, все более нарастающее в течение последних лет. Само озеро активно используется для водопоя скота. Все это обуславливает поступление в него биогенных веществ, способствующих эвтрофированию, особенно быстрому при небольшой глубине и объеме водной массы. Отметим также, что соседнее сопоставимое с оз. Джандысколь по размерам и гидрологическому режиму оз. Караколь также эвтрофируется быстрыми темпами. За последние 15 лет, по визуальным наблюдениям одного из авторов, площадь и объем озера существенно сократились, обнажились прибрежные мелководья, на которых теперь видны многочисленные следы сельскохозяйственных животных и отходы их жизнедеятельности. Озеро практически потеряло свою эстетическую привлекательность.

Таким образом, хозяйственная деятельность стала весьма важным фактором, определяющим эволюцию озерно-болотных комплексов урочища Ештыкёль. Однако очевидны и изменения природных условий, связанные с потеплением климата в последние несколько десятилетий: деградация многолетней мерзлоты, активизация термокарстовых процессов и др. Результаты действия всех этих факторов тесно взаимосвязаны, что затрудняет количественную оценку роли каждого из них.

Озера районов распространения многолетней мерзлоты на севере Западно-Сибирской равнины, как и все водоемы с замедленным водообменном, тоже имеют тенденцию к эвтрофированию. Однако здесь в большей степени выражена периодичность их развития, связанная с сукцессией (мерзлый бугор – мочажина – термокарстовое озеро – спущенное озеро хасырей – молодой хасырей – старый хасырей), накладывающаяся на общую тенденцию, определяемую современной деградацией мерзлоты.

Горные озерно-болотные комплексы Алтая являются чуткими индикаторами климатических изменений. Однако по сравнению с обширными равнинными заболоченными территориями Западной Сибири их динамика существенно осложняется орографическими особенностями и повышенной контрастностью микроклиматических условий в пределах горной страны. В целом просматривается тенденция к сокращению площадей болотных массивов в аридных районах высокогорий юга Западной Сибири и в Монголии. Несмотря на прогрессирующую аридизацию высокогорий, сходным с равнинными гумидными территориями является сдвиг криогенных процессов в сторону усиления термокарстовой активности в условиях климатического потепления последних лет. Причем показатели термокарстовой активности в высокогорьях заметно выше, чем на равнинных территориях, что связано с компактностью горных болотных массивов. Предварительное изучение продукционно-деструкционных процессов выявило более высокие величины продукции горной болотной системы, близкие к травяным болотам степной зоны, приводящие к ускорению круговорота морт-массы, по сравнению с лесотундровыми условиями равнины.

Таким образом, озерно-болотный комплекс урочища Ештыкёль является уникальным компактным природным полигоном, удобным для организации многолетнего мониторинга ландшафтной динамики, антропогенной нагрузки, криогенных, гидрологических и продукционно-деструкционных процессов в контексте климатических изменений.

Литература

1. *Кирпотин С.Н.* Западная Сибирь – уникальный болотный регион и ее роль в регулировании глобального климата // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: Сб. статей / Под. ред. С.Н. Кирпотина. Томск: Изд-во НТЛ, 2006. С. 22–42.
2. *Kirpotin S.N., Naumov A.V., Vorobiov S.N., Mironycheva-Tokareva N.P. et al.* Western-Siberian Peatlands: Indicators of Climate Change and Their Role in Global Carbon Balance // Chapter 33 in *Climate Change and Terrestrial Carbon Sequestration in Central Asia* / Ed. by

- R. Lal, M. Suleimenov, B.A. Stewart, D.O. Hansen, P. Doraiswamy. Amsterdam: Taylor and Francis, 2007. P. 453–472.
3. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185–190.
 4. *Kirpotin S., Berezin A., Bazanov V., Polishchuk Y., Vorobiov S. et al.* Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale // International Journal of Environmental Studies. 1029–0400. 2009. Vol. 66, is. 4. P. 409–421.
 5. *Kirpotin S., Polishchuk Yu., Bryksina N.* Abrupt Changes of Thermokarst Lakes in Western Siberia: Impacts of Climatic Warming on Permafrost Melting // International Journal of Environmental Studies. 1029–0400. 2009. Vol. 66, is. 4. P. 423–431.
 6. *Волкова И.И.* Возможности и перспективы использования горных болот как объектов индикации климатических изменений // Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: Сб. статей. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. С. 69–72.
 7. *Volkova I., Volkov I., Kuznetsova A.* Mountain mires of South Siberia: biological diversity and environmental functions // International Journal of Environmental Studies. 2009. Vol. 66, is. 4. P. 465–472.
 8. *Kirpotin S., Polishchuk Yu., Zakharova E., Shirokova L. et al.* One of Possible Mechanisms of Thermokarst Lakes Drainage in West-Siberian North // International Journal of Environmental Studies. 2008. Vol. 65, № 5. P. 631–635.
 9. *Minaeva T., Gunin P., Sirin A., Bazha S., Dugarjav Ch.* Peatlands in Mongolia: the typical and disappearing landscape // Peatlands International. 2004. № 2. P. 44–47.
 10. *Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., Van der Knaap W.O., Ammann B.* The role of pingos in the development of the Dzhangyskol lake-pingo complex, central Altai Mountains, southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2008. № 257. P. 404–420.
 11. *Климатообусловленные геоморфологические опасности Горного Алтая.* URL: <http://www.georiski.ru/testu1.htm>
 12. *Андреевская Н.И., Горчаковский П.Л.* Продуктивность кустарничковых и травяных сообществ лесотундры: методика ее оценки // Экология. 1972. № 3. С. 5–12.
 13. *Корчагин А.А.* Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Л.: Наука, 1976. Т. 5. 313 с.
 14. *Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Блейтен В.* Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Вестник ТГУ. 2003. № 7. С. 142–152.
 15. *Злотин Р.И.* Изучение продуктивности и закономерности распределения фитомассы в растительном покрове сыртов Тянь-Шаня // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 145–150.
 16. *Деева Н.М.* Запас и структура горных тундр северо-запада Путорана // Биологические проблемы севера. Сыктывкар, 1981. С. 90–91.
 17. *Вильчек Г.Е.* Продуктивность некоторых фитоценозов Воркутинских тундр // Экология. 1986. № 2. С. 8–13.
 18. *Манаков К.Н.* Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1972. 147 с.
 19. *Четурко Н.Л.* Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в лесных и тундровых сообществах Хибинских гор // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 213–220.
 20. *Вагина Т.А., Шатохина Н.Г.* Фитоценоотические и биогеоценоотические процессы // Структура, функционирование и эволюция биогеоценозов Барабы. Новосибирск, 1976. Т. 2. С. 265–300.
 21. *Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К.* Биологическая продуктивность болот лесотундры Западной Сибири // Вестник ТГПУ. 2008. Вып. 4 (78). С. 53–57.
 22. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.

23. Куминова А.В., Зверева Г.А. Продуктивность естественной травяной растительности в фитоценозах в Восточном Саяне // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 65–70.
24. Малиновский К.А. Биологическая продуктивность некоторых высокогорных ценозов Карпат. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 135–140.
25. Джафаров Б.А., Джафарова Т.С. О запасах фитомассы альпийских и субальпийских лугов Малого Кавказа // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 140–145.
26. Маилов А.И. Сезонная динамика фитомассы и опада послелесных лугов Большого Кавказа в Азербайджанской ССР // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л.: Наука, 1971. С. 136–140.
27. YSI Environmental Operations Manual // 6-series Environmental Monitoring Systems. 1996–2006.
28. Бородавко П.С. Изменения климата и динамика рельефа криолитозоны Горного Алтая // Вопросы географии Сибири. Томск, 2009. Вып. 27. С. 142–147.
29. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А., Днепровская В.П. Динамика площадей термокарстовых озер как индикатор климатических изменений (по данным наземного и космического мониторинга) // Western Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the Second International Field Symposium. Khanty-Mansiysk, 2007. P. 29–32.
30. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справочные материалы / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко, Е.М. Аверочкин. Эколайн, 2000. URL: <http://www.ecoline.ru/mc/refbooks/hydrochem/index.html> (дата обращения – 15.02.2010).
31. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология. М.: Высшая школа, 1979. 340 с.
32. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 279 с.

Поступила в редакцию 27.02.2010 г.

Irina I. Volkova¹, Igor V. Volkov², Natalie P. Kosykh³, Nina P. Mironycheva-Tokareva³,
Lydia V. Kirpotina¹, Valerie A. Zemtsov¹, Maria V. Kolmakova^{1,4}, Aleksey V. Kouraev⁴,
Elena A. Zakharova⁴, Sergey N. Kirpotin¹

¹Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia

³Institute of Soil Science and Agrochemistry SB, RAS, Novosibirsk, Russia

⁴Universite de Toulouse; UPS (OMP-PCA), LEGOS, Toulouse, France

E-mail: kirp.tsu.ru

HIGH-LAND ESHTYKYOL LAKE-MIRE SYSTEM, MOUNTAIN ALTAI

Summary. *The integrated landscape-environmental description of unique Eshtykyol lake-mire system of Mountain Altai (Altai Republic) is given. In particular, cryogenic and destruction-production processes are characterized, as well as hydrochemical parameters. High indication characteristics of the highlands frozen mound mires are indicated in terms of climatic changes. The common tendencies of cryogenic processes in the lowland part of subarctic region of Western Siberia and highlands of Altai, related to the recent climate changes, are revealed. It is shown that due to the compactness of highland mire systems thermokarst processes are more intensive there in comparison with the vast West-Siberian lowlands.*

Key words: *mountain mires; climate; thermokarst; production; carbon cycle.*

Received February 27, 2010