
ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.42:577.4(571.1)

В.А. Базанов¹, О.Г. Савичев², А.А. Скугарев³, Ю.А. Харанжевская⁴

¹ Научно-исследовательский институт биологии и биофизики
Томского государственного университета (г. Томск)

² Геолого-географический факультет Томского государственного университета (г. Томск)
³ ООО «ИНГЕОТЕХ» (г. Томск)

⁴ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
СО Россельхозакадемии (г. Томск)
E-mail: ingeotech@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФИТОИНДИКАЦИИ
В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗАБОЛОЧЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ
р. КЛЮЧ, ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 08-04-92497-НЦНИЛ_a
и 08-05-92500-НЦНИЛ_a.

Аннотация. Рассмотрено применение метода фитоиндикации и космоснимков среднего разрешения для решения гидрологических задач на заболоченных территориях таежной зоны в Западной Сибири. На примере типичного для таежной зоны малого водотока Ключ выполнен анализ гидрологических условий. Показано, что тенденция развития процесса болотообразования в таежной зоне сохранится в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Ключевые слова: фитоиндикация; растительное сообщество; болото; водный баланс; Западная Сибирь.

Введение

Западная Сибирь практически полностью соответствует водосборному бассейну р. Обь и представляет собой одну из крупнейших на Земле аккумулятивных низменных равнин, значительная часть которой заболочена. Так, по оценкам [1–4], в течение последних 10 000 лет средняя скорость вертикального прироста торфяной залежи в регионе изменяется от 0,35–0,39 мм/год в средне- и северотаежной подзонах до 0,59–1,15 мм/год в южнотаежной подзоне (в районе крупнейшего в мире Васюганского болота). В настоящее время заболоченность территории бассейна р. Обь в пределах подзон южной и средней тайги составляет более 30%, причем процесс болотообразования прогрессирует. Следовательно, должны увеличиваться ресурсы болотных вод, что не может не отразиться на составе и строении растительных сообществ и экологическом состоянии рассматриваемой территории. Это определяет актуальность совместных исследований гидрологического и растительного компонентов заболоченных территорий Западной Сибири. Однако их

проведение сопряжено с целым рядом как технических, так и методологических проблем, начиная с противоречий в понимании сущности болота. На самом деле этот объект может рассматриваться с различных точек зрения – как водный объект, геологическое тело, почвенно-растительное образование и т.д. В нашем представлении болото – это самостоятельный природный объект, для которого характерны замедленный водообмен и преимущественно фильтрационный сток в пределах деятельного горизонта, небольшое число видов растений, являющихся одновременно торфообразователями и строителями болотной поверхности, накопление отложений торфа и др.

Первоочередной задачей гидрологических и геоэкологических исследований является определение морфометрических характеристик заболоченных водосборов, болот и внутриболотных экосистем в условиях незначительных уклонов поверхности и сложного, меняющегося во времени рельефа. Одним из эффективных и наименее затратных способов решения этой задачи, на наш взгляд, является выявление связей между отдельными показателями растительности водосбора (биоморфологический и экологический состав доминирующих видов и (или) др.) и отдельными показателями гидрологических условий (интенсивность водообмена, динамика уровня вод и др.). Иными словами, речь идет о возможности использования фитоиндикационного метода в гидрологических исследованиях труднодоступных высокозаболоченных территорий Западной Сибири. В данной статье применение фитоиндикации рассмотрено на примере одного из малых, типичных для таёжной зоны водотоков в Обь-Иртышском междуречье – р. Ключ (элемент речной сети: Обь – Чая – Бакчар – Ключ; рис. 1).

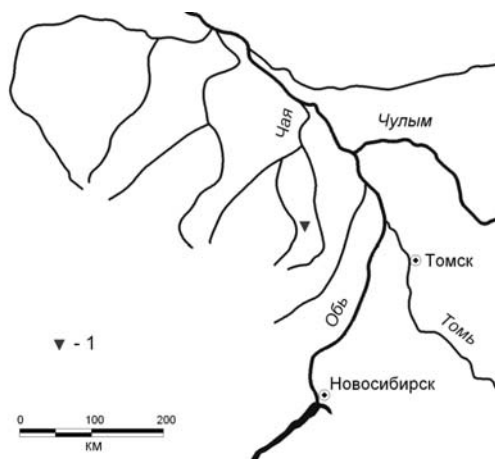


Рис. 1. Схема расположения района исследований (1)

На основе результатов определения горизонтальных границ болотных ландшафтов и границ водосбора р. Ключ, полученных по данным дешифрирования растительности на космических снимках, также был проведен расчет элементов месячного водного баланса за многолетний период с целью выявления общих тенденций изменения гидрологических условий на заболоченных территориях южнотаёжной подзоны Западной Сибири.

Теоретические основы фитоиндикации

При изучении гидрологических условий на болотах с помощью метода фитоиндикации нами использовались представления о тесной взаимосвязи фитомасс, под которыми, согласно [5], понимается органическое вещество растений, накопленное к данному моменту времени надземной и подземной частями природно-территориального комплекса, с другими компонентами последнего и процессами, в нем протекающими. Фитомассы, по сравнению с объектами атмо-, гидро- и литосферы, характеризуются наиболее выраженным проявлением текстурно-структурных особенностей, отражающим специфику водного режима и историю развития болотной растительности. В данной работе они рассматриваются преимущественно через экологические и биоморфологические признаки растений.

Алгоритм применения метода фитоиндикации в гидрологических исследованиях на болотах в общих чертах подразумевает: 1) выявление индикаторов отдельных гидрологических параметров (объектов индикации); 2) обоснование эффективности и надёжности индикаторов; 3) изучение экологических связей индикатора и объекта индикации; 4) географический анализ индикационных связей; 5) отражение индикаторов и объектов индикации на картографических материалах при решении прикладных и научных задач [6–9]. Практическая реализация этого алгоритма в определенной степени зависит от исследуемого объекта. Применительно к болотным ландшафтам специфика использования метода фитоиндикации заключается в следующем.

Во-первых, основным объектом метода фитоиндикации является один и (или) несколько показателей гидрологических условий на болотах.

Во-вторых, при исследовании болот выявление индикаторов и индикационных связей базируется на широко используемом в болотоведении выделении трёх экологических групп растений по типу минерального питания и обеспеченности элементами питания эдафической среды – олиготрофов, мезотрофов и эвтрофов. Растения первой группы характеризуются низкой требовательностью к веществам минерального питания и могут существовать исключительно за счет атмосферных осадков. Растения третьей группы более требовательны к условиям минерального питания и приурочены к местообитаниям со значительным подземным водным питанием. Растения второй группы по показателю обеспеченности местообитания минеральными веществами занимают среднее положение между олиготрофными и эвтрофными видами.

Болотные растения характеризуются широким диапазоном приспособлений физиологического характера на пространственную неоднородность гидрологических условий болот. По этому фактору (а именно он на болотах является определяющим с точки зрения жизнеобеспечения) растения, по мнению авторов [10], предлагается объединить в группы пойкилогидрических и гомойгидрических. Пойкилогидрическими являются водоросли, мхи, лишайники, которых отличает непостоянство гидратуры и прямая зависимость от условий увлажнения среды обитания. При низкой концентрации влаги эти растения способны переходить в состояние анабиоза, не теряя при этом жизнеспособности. У сфагновых мхов, обитающих на болотах, гидратура поддерживается как отдельными особями, преимущественно за счет анатомо-морфологических приспособлений (наличия

гиалиновых клеток и др.), так и путем образования различных по плотности, мощности колоний особей в виде ковров и дернин и др. Вторая группа – гомой-гидрические растения – объединяет виды растений, у которых гидратура определяется механизмами преимущественно анатомо-физиологического характера.

В-третьих, болотные растения характеризуются высокой вариабельностью по биоморфологическим признакам (размерам наземных и подземных органов, например у деревьев, кустарничков и др.), а в результате и функциональным значением в структуре болотных экосистем. Растения, близкие по биоморфологическим признакам (независимо от их видовой принадлежности), объединены в классы, соответствующие формам роста (табл. 1). В центральной части таежной зоны Западной Сибири нами установлено 16 таких форм роста, в том числе 4 формы у деревьев, 4 – у кустарничков, 5 – у трав и 3 – у мхов. Для 7 форм роста из 16, выделенных нами в районе исследования, удалось найти подтверждение в литературных источниках [11–13]. Остальные девять вводятся в научный оборот на основании собственных исследований.

Биоморфологическими свойствами болотных растений в значительной степени определяются физико-механические свойства поверхности болота, представляющей собой особую категорию природных фитогенных объектов. Эти свойства обусловлены преимущественно размерами, геометрическими особенностями и прочностными свойствами подземных органов. Например, крупные корни деревьев выполняют функцию крупных армирующих элементов, а осоковые и пушицевые кочки, протяженные на глубину до 0,5 м и больше, – соответственно свай. Погруженные в моховую дернину и торф ко-со направленные ветви кустарничков, корневища трав, переплетаясь между собой, выполняют скрепляющую функцию, упрочняя в целом армирующую конструкцию болотной поверхности. Механически непрочные побеги сфагновых и гипновых мхов, заполняя пространство между корнями, корневищами и другими подземными органами высших растений, формируют особый тип различных по прочностным свойствам природных образований (в настоящей работе они называются дернинами). Прочностные свойства последних зависят преимущественно от степени насыщенности их питающими корешками сосудистых растений.

Таблица 1

Морфологическая классификация болотных растений центральной части таежной зоны Западной Сибири

Жизненная форма	Форма роста	Название вида
1	2	3
Деревья	1а. Топьяная: стволы деревьев высотой 5–8 м и диаметром 15–20 см; овальная крона занимает 1/4 часть ствола; корневая система поверхностная, корневая шейка расположена на глубине 15–20 см	<i>Pinus sylvestris f. uliginosa</i> [13]
	1б. Рямовая (Литвинова): стволы высотой 2–4 (6) м и диаметром 2–8 см; шаровидная крона занимает около 1/3 ствола; корневая система поверхностная, корневая шейка расположена на глубине 35–45 см	<i>Pinus sylvestris f. Litvinovii</i> [12]

Окончание табл. 1

	2	3
1	1в. Болотная: высота ствола 2–5 м, диаметр 4–12 см; крона кедр цилиндрическая, нижняя часть ствола очищена от ветвей; крона берез в виде усеченного конуса, нижняя часть ствола очищена от ветвей; корневая система поверхностная, корневая шейка расположена на глубине 15–25 см	<i>Betula pubescens</i> , <i>Pinus sibirica</i>
	1г. Лесная: высота ствола 18–24 м, диаметр его на высоте 1,2–1,5 м 25–35 см	<i>Betula pubescens</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pinus sibirica</i>
Кустарники и кустарнички	2а. Ветвеукоряющиеся вегетативно подвижные кустарники и кустарнички: скелетные оси в подземной и надземной средах ориентированы горизонтально	<i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Betula nana</i>
	2б. Ветвеукоряющиеся вегетативно неподвижные кустарники и кустарнички: скелетные оси в подземной и надземной средах ориентированы вертикально или слабонаклонно	<i>Chamaedaphne calyculata</i> , <i>Ledum palustre</i> , <i>Salix lapponum</i> , <i>S. myrtilloides</i>
	2в. Настоящие ползучие кустарнички [11]: вегетативная подвижность осуществляется плагиотропными столонами	<i>Andromeda polyfolia</i>
	2г. Вегетативно-подвижные кустарнички шпалерного типа [11]	<i>Oxycoccus palustris</i>
Травы	3а. Кочки цилиндрические: высота кочек до 0,5 м, диаметр до 0,35 м	<i>Carex caespitosa</i>
	3б. Кочки полусферические: высота кочек до 0,1 м, диаметр до 0,2 м	<i>Eriophorum vaginatum</i>
	3в. Плотносвязанные дерновины [11]: подземные побеги, узлы кушения и питающие корешки сжаты в плотную дерновину; форма характеризуется слабой вегетативной подвижностью	<i>Menianthes trifoliata</i> , <i>Carex globularis</i> , <i>C. la-siocarpa</i> , <i>C. rostrata</i> и др.
	3г. Рыхлосвязанные дерновины [11]: плагиотропные подземные побеги, узлы кушения и питающие корешки рыхло распределены в почве; растения этой формы вегетативно подвижны	<i>Menianthes trifoliata</i> , <i>Eriophorum vaginatum</i> , <i>Thelypteris palustris</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> и др.
	3д. Длиннокорневищные растения [11]: ортотропные побеги удалены друг от друга и связаны длинными плагиотропными корневищами или столонами; вегетативно подвижны	<i>Comarum palustre</i> , <i>Menianthes trifoliata</i> , <i>Scheuchzeria palustris</i> , <i>Carex limosa</i> и др.
Мхи	4а. Плотносвязанные дернины: мощность дернин до 20–25 см, стебельки в дернине стоят вертикально и плотно сопрягаются друг с другом	<i>Sphagnum fuscum</i> , <i>S. magellanicum</i> , <i>To-menthypnum nitens</i> и др.
	4б. Плотносвязанные дернины: мощность дернин до 10 см, побеги в дернине ориентированы вертикально или наклонно и рыхло сопрягаются друг с другом	<i>Sphagnum fuscum</i> , <i>S. angustifolium</i> , <i>S. wulfianum</i> , <i>S. majus</i> и др.
	4в. Несвязанные дернины: мощность дернин около 5 см, побеги мха взвешены в воде и не связаны между собой	<i>Sphagnum majus</i> , <i>S. balticum</i> и др.

В качестве примера специфики строения поверхности болотных экосистем приведен вертикальный профиль болотной лесной экосистемы (рис. 2). Мощная (до 15 см) моховая дернина с вертикально стоящими и плотно прилегающими

друг к другу побегами сфагнов узколистного, магелланского и бурого пронизана по всей толще ветвями кустарничков с густым войлоком придаточных корешков и корнями сосны *Pinus sylvestris f. uliginosa*. Очес сфагновых мхов этой конструкции выполняет роль наполнителя, а сеть корней и корешков – роль арматурных элементов, придавая всей конструкции высокую упругость, способную выдерживать в ряде случаев высокие механические нагрузки (давление снежного покрова и ветра на кроны деревьев). Молодые гибкие ветви кустарничков служат вертикальными опорами, способствуя увеличению прочности и лучшей связности горизонта и обеспечивая побегам сфагнов возможность вертикального роста. Роль прочных арматурных элементов выполняют горизонтальные корни сосны, расположенные на разных глубинах.

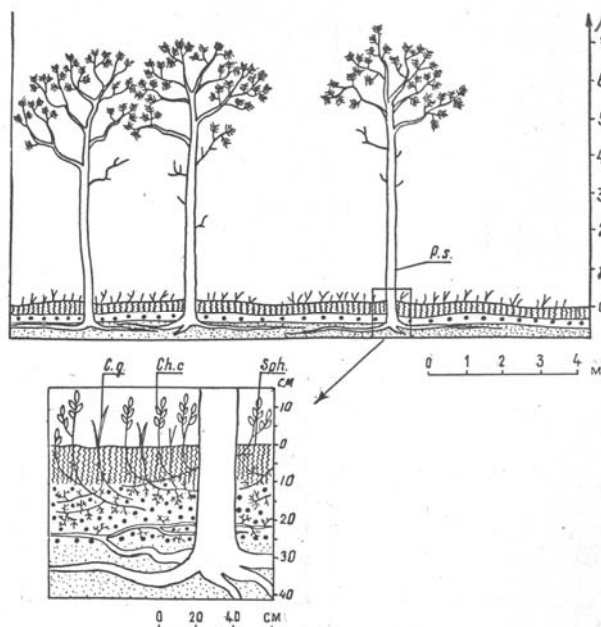


Рис. 2. Строение поверхности болотной лесной экосистемы на торфе с низкорослыми насаждениями: *P. s.* – *Pinus sylvestris f. uliginosa* (1а), *C. g.* – *Carex globularis* (3в), *Ch. c.* – *Chamaedaphne calyculata* (2а), *Sph.* – *Sphagnum fuscum* (4а); в скобках указана форма роста растений (см. табл. 1)

Методика исследования

Практическое использование метода фитоиндикации так или иначе связано с дешифрированием и анализом данных дистанционного зондирования Земли. Пространственная информация о болотных и лесных экосистемах (размещение, площадь и др.) получена с многозональных снимков искусственных спутников Земли Landsat 7 с разрешением 30 м и уровнем обработки, включающим геометрическую и радиометрическую коррекцию изображений и привязку в картографической проекции [14, 15]. Дешифрирование космоснимков выпол-

нено в системе ENVI 4.0, картографические работы – в ГИС ArcGIS 9.0. В качестве топографической основы использована электронная государственная топографическая карта масштаба 1:200000. Выделение болотных и лесных экосистем проводилось на основе анализа и классификации дешифрируемых на снимках изображений данных объектов. Различия изображений разных экосистем обусловлены преимущественно такими факторами, как породный состав, высота, сомкнутость крон древесных насаждений, проективное покрытие моховой и кустарничково-травяной растительности и т.д.

На основе материалов Росгидрометцентра (увлажнение, по данным метеостанции Бакчар, расходы воды р. Ключ – по данным поста у с. Полынянка) и результатов определения границ и площадей водосбора р. Ключ, лесных, болотных и внутриболотных экосистем на водосборе был рассчитан слой водного стока и месячный водный баланс за период с 1973 по 2006 г. Общее увлажнение водосбора за месяц t рассматривалось как сумма выпавших жидких атмосферных осадков (атмосферные осадки при среднемесячной температуре атмосферного воздуха больше или равной 0°C) и водоотдачи из снегового покрова. При среднемесячной температуре воздуха меньше 0°C атмосферные осадки рассматривались как снег, который не принимает непосредственного участия в водном питании реки, а идет на формирование снегового покрова. Водоотдача из снегового покрова приблизительно определялась согласно [16–18] при температуре атмосферного воздуха больше или равной 0°C с учётом стаивания снега в результате выпадения дождей. Расчёт снеготаяния производился отдельно для залесенной и открытой местности. Общее увлажнение водосбора рассчитывалось как средневзвешенное для увлажнения в лесу и на открытых участках. Величина суммарных потерь водного стока определялась как разность между слоем суммарного увлажнения и стока в текущем месяце. Дополнительно выполнен расчёт суммарного испарения с водосборной территории по методу В.С. Мезенцева [19].

Кроме того, был выполнен анализ многолетних изменений элементов водного баланса р. Ключ, включавший проверку нулевых гипотез о случайности и однородности рядов наблюдений. Проверка на случайность проводилась с помощью критерия Питмена Pk и с использованием линейной модели изменения исследуемой функции по годам. Проверка на однородность осуществлялась с помощью критериев Фишера Fk и Стьюдента Sk . Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости $\alpha = 5\%$ в случае, когда расчетная статистика (Pk, Sk, Fk) по модулю превышала соответствующее критическое значение ($Pk_{\alpha}, Sk_{\alpha}, Fk_{\alpha}$).

Результаты определения границ и морфометрических характеристик водосбора р. Ключ

В результате выполненного исследования были уточнены опубликованные в [20] данные о площади водосбора р. Ключ, его заболоченности и залесённости, причём площадь водосбора возросла более чем в 1,5 раза. Кроме того, были выделены участки распространения внутриболотных экосистем с древесной растительностью (рис. 3, табл. 2).

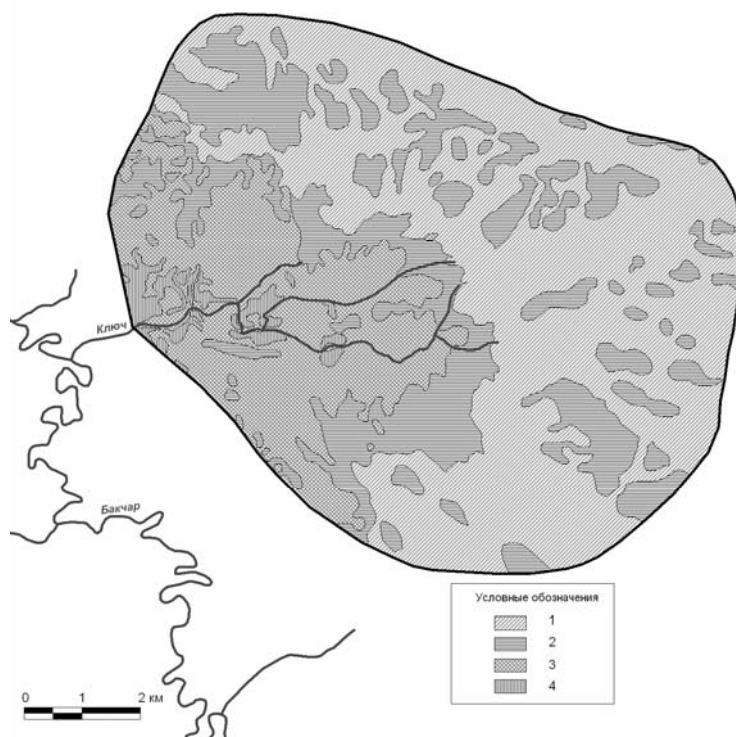


Рис. 3. Схема распространения внутриболотных фаций в водосборе р. Ключ (номера выделенных участков соответствуют перечню экосистем в табл. 2)

Таблица 2

Морфометрические характеристики водосбора р. Ключ у с. Полянника

№ на рис. 3	Экосистемы	Площадь	
		км ²	%
1	Болотные лесные экосистемы на торфе с низкорослыми насаждениями <i>Pinus sylvestris f. uliginosa</i> (1а), <i>Carex globularis</i> (3в), <i>Chamaedaphne calyculata</i> (2а), <i>Sphagnum fuscum</i> (4а)	21,17	28
2	Болотные безлесные и (или) слабо облесенные комплексные экосистемы на торфе с плотно связанными и несвязанными дерновинами травянистых растений (3в, 3г), а также <i>Sphagnum majus</i> (4в) и др.	36,75	48,6
3	Лесные экосистемы на минеральных грунтах высокорослых насаждений мелколиственных и хвойных пород деревьев лесной формы роста	16,05	21,2
4	Сельскохозяйственные угодья на месте лесов	1,73	2,3
	Водосбор в целом (согласно [20], 44 км ²)	75,7	100
	Суммарная заболоченность (согласно [20], 15%)	57,92	76,6

Примечание. В скобках указана форма роста растений (см. табл. 1).

Одной из главных особенностей рассматриваемой территории является её очень высокая заболоченность (76,6%) с преобладанием верховых (олиготроф-

ных) лесных экосистем на торфе с насаждениями *Pinus sylvestris* и плотнодернинного *Sphagnum fuscum*, безлесных и (или) редко облесенных комплексных экосистем (грядово-мочажинных, осоково-сфагновых, осоково-пушицево-сфагновых и грядово-озерково-мочажинных). Другая особенность территории связана с наличием переменных границ водосбора, бессточных участков по краям и внутри него и возможностью стока (в виде фильтрационного потока в деятельном горизонте торфяной залежи) при высоких уровнях болотных вод как в р. Ключ, так и в соседние водотоки. С учётом этого установленные границы водосбора соответствуют среднегодовым условиям и не отражают специфики водного стока с заболоченных территорий в периоды очень высокой водности. Характерный профиль поверхности болота, иллюстрирующий сложность выделения границы водосбора на участке распространения сосново-кустарничково-сфагновой внутриболотной экосистемы, приведен на рис. 4.



Рис. 4. Профиль поверхности болота в юго-восточной части водосбора р. Ключ: I – болотные безлесные и (или) слабооблесенные экосистемы; II – болотные лесные экосистемы с низкорослыми насаждениями *Pinus sylvestris*; III – болотные комплексные экосистемы

Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне р. Ключ

Анализ данных метеонаблюдений в с. Бакчар подтвердил выводы о существенном росте температуры приземных слоев атмосферного воздуха в районе исследований [21]. Это увеличение наиболее заметно проявляется в феврале, мае и октябре. Кроме того, выявлено увеличение суммы среднемесячных положительных температур воздуха, что с учётом их связи с испаряемостью является косвенным свидетельством увеличения последнего. Ещё более заметное увеличение установлено для суммы температур воздуха более 10°C (среднее значение за 1973–1989 гг. составляет 51,7°C, а за 1990–2006 гг. – 59,8°C), что указывает на определенное улучшение условий произрастания среднетребовательной к теплу растительности и, возможно, повышение биопродуктивности экосистемы рассматриваемой территории.

Статистический анализ данных о водном балансе р. Ключ позволил выявить уменьшение общего увлажнения водосборной территории в апреле и мае и его увеличение в октябре, причём статистически значимое изменение месячной суммы атмосферных осадков обнаружено только в мае (уменьшение в том же размере, что и для общего увлажнения). Указанное несоответствие в октябре связано с ростом среднемесячной температуры воздуха. Это и привело к увеличению общего увлажнения водосбора за счёт дождей, поскольку твёрдые атмосферные осадки в целом не участвуют в формировании стока в текущем месяце, а накапливаются в снеговом покрове. В апреле связь между изменениями увлажнения и температуры воздуха не столь очевидна. Тем не менее изучение динамики элементов водного баланса позволяет сделать вывод о проявлении в указанном месяце эффекта постепенного незначительного снижения к началу весны влагозапасов в снеговом покрове вследствие увеличения осенне-зимнего переходного периода.

Для слоя водного стока установлено определенное уменьшение в апреле, ноябре и декабре и увеличение – в августе и сентябре (табл. 3).

Таблица 3

Результаты проверки на однородность и случайность месячных и годовых значений слоя стока р. Ключ

Расчётный интервал	Период, годы	A , мм	σ , мм	Sk/Sk_{α}	Fk/Fk_{α}	Pk/Pk_{α}
Январь	1973–2006	0,0	0,1	0,48	–	–0,15
Февраль	1973–2006	0,0	0,0	–	–	–
Март	1973–2006	0,0	0,0	–	–	–
Апрель	1973–2006	10,6	12,3	0,67	1,93	–0,88
	1973–1989	13,6	15,7	–	–	–0,44
	1990–2006	7,7	6,8	–	–	–0,54
Май	1973–2006	36,74	32,4	0,45	0,70	–0,39
Июнь	1973–2006	10,8	9,3	0,55	1,86	–0,64
	1973–1989	13,7	11,6	–	–	0,19
	1990–2006	8,0	5,1	–	–	–0,24
Июль	1973–2006	3,9	4,8	0,06	0,53	0,21
Август	1973–2006	3,9	6,5	0,43	1,10	0,60
	1973–1989	2,3	4,5	–	–	0,12
	1990–2006	5,5	7,8	–	–	0,07
Сентябрь	1973–2006	3,2	7,6	0,45	1,89	0,33
	1973–1989	2,0	4,3	–	–	0,08
	1990–2006	4,4	9,9	–	–	–0,05
Октябрь	1973–2006	3,6	7,1	0,31	0,84	0,34
Ноябрь	1973–2006	1,2	3,3	0,65	2,44	–0,50
	1973–1989	2,0	4,3	–	–	0,10
	1990–2006	0,4	1,7	–	–	–0,16
Декабрь	1973–2006	0,5	1,4	0,55	1,72	–0,46
	1973–1989	0,7	1,7	–	–	0,03
	1990–2006	0,2	0,8	–	–	–0,16
Январь – декабрь	1973–2006	74,5	56,3	0,36	0,78	–0,38

Примечание. A , σ – среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения; Sk , Sk_{α} , Fk , Fk_{α} , Pk , Pk_{α} – фактические и критические значения критериев Стьюдента, Фишера и Питмена.

Выявленные изменения стока соответствуют однонаправленному изменению увлажнения водосбора только в апреле. В прочие месяцы связь между (месячными) значениями стока и общего увлажнения незначительна (коэффициент корреляции для всего периода наблюдений $r = 0,28 \pm 0,05$). С учётом этого было изучено изменение суммарных потерь стока и испарения с поверхности водосбора. Анализ полученных данных показал, что суммарные потери стока р. Ключ в летние месяцы примерно на 2% меньше величины испарения с поверхности водосбора, рассчитанного по методу В.С. Мезенцева (в целом за год $r = 0,86 \pm 0,01$). Нарушение однородности выявлено только для рядов суммарных потерь в июне, ноябре и декабре (в апреле соотношение фактического и критического значений критерия Фишера составило 0,96), рядов испарения по В.С. Мезенцеву – апреле и октябре, причём весной отмечено уменьшение испарения в течение последних 15 лет (предположительно вследствие уменьшения общего увлажнения водосбора), а осенью – увеличение (из-за роста испаряемости).

В целом можно констатировать факт весьма слабой зависимости величины слоя водного стока р. Ключ от общего увлажнения водосборной территории и испарения. Это объясняется не только внутригодовым распределением теплоэнергетических ресурсов [22], но и регулирующей ролью внутриболотных экосистем, в которых происходит накопление и перераспределение запасов влаги. При этом важное значение имеют и различия в условиях стока с заболоченных и незаболоченных территорий в годы разной водности, описанное в [23], и возможность образования при высоких уровнях болотных вод сплошного водного пространства, охватывающего несколько водосборных территорий со стоком в соответствующие речные системы.

Заключение

Одной из важнейших особенностей ландшафтного покрова заболоченных водосборных территорий таёжной зоны Западной Сибири является абсолютное доминирование лесных и болотных экосистем, характеризующихся повышенным гидроморфизмом и специфичным обменом вещества и энергии с окружающей средой. Это значительно усложняет их изучение. Тем не менее выполненные исследования позволили сделать ряд важных выводов, которые могут быть распространены на значительную часть таёжной части Западной Сибири.

1. Оценка составляющих водного баланса рек с сильно заболоченными водосборами должна основываться на результатах полевых исследований и анализа современных аэро- и космоснимков. Применение в гидрологических расчетах морфометрических характеристик, полученных в 1950–1960-е гг., может привести к снижению достоверности результатов расчётов.

2. Анализ полученных данных свидетельствует об острой необходимости расширения исследований функционирования и организации болотных и внутриболотных экосистем. Эти исследования должны быть ориентированы на выявление связей между характеристиками режима водно-минерального питания растений, составом и строением доминирующих видов растений.

3. В рассматриваемом районе (водосбор р. Ключ) наблюдается перераспределение водного режима, которое характеризуется определенным уменьшением сто-

ка в ноябре и декабре, апреле–июне и увеличением в августе–сентябре. Указанное изменение связано со статистически значимым уменьшением общего увлажнения водосбора в апреле, постепенным увеличением испарения в осенний период, ростом продолжительности переходного осенне-зимнего периода и соответствующим сокращением влагозапасов в снеговом покрове в ноябре–декабре.

4. В ближайшей и среднесрочной перспективе сохранятся благоприятные условия для развития болотных процессов вследствие избыточного увлажнения в тёплый период года и улучшения условий существования среднетребовательной к теплу растительности, что в достаточно суровых климатических условиях с большой вероятностью приведёт к усилению торфонакопления.

Литература

1. *Нейштадт М.И.* Торфяные ресурсы, их качество и особенности // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 175–180.
2. *Нейштадт М.И.* Проблемы Западной Сибири в связи с её заболоченностью // Влияние перераспределения стока вод на природные условия Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 121–124.
3. *Львов Ю.А.* Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области. Новосибирск: Наука, 1991. С. 67–75.
4. *Пологова Н.Н., Лапина Е.Д.* Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2007. С. 174–179.
5. *Берущаивили Н.Л.* Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.
6. *Викторов С.В., Востокова Е.А., Вышивкин Д.Д.* Некоторые вопросы теории геоботанических индикационных исследований // Растительные индикаторы почв, горных пород и подземных вод. М.: Наука, 1964. С. 7–11.
7. *Виноградов Б.В.* Экологическая компенсация, замещаемость и экстраполяция растительных индикаторов // Растительные индикаторы почв, горных пород и подземных вод. М.: Наука, 1964. С. 210–219.
8. *Базанов В.А., Скугарев А.А., Макушин Ю.В.* Экологический мониторинг объектов нефтедобычи Западной Сибири на основе данных ДЗЗ // Технологии ТЭК. 2005. № 1(20). С. 96–100.
9. *Березин А.Е., Базанов В.А., Савичев О.Г.* Принципы разработки кадастра торфяных болот (на примере районов нефтедобычи Томской области) // Охрана природы: Сб. статей / Под ред. А.Е. Березина. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. Вып. 3. С. 13–26.
10. *Вальтер Г.* Общая геоботаника. М.: Мир, 1982. 261 с.
11. *Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений. М., 1962. 379 с.
12. *Сукачев В.Н.* Болота, их образование, развитие и свойства // Избранные труды. Л.: Наука, 1973. Т. 2. С. 97–161.
13. *Аболтин Р.И.* Опыт эпигенологической классификации болот // Болотоведение. 1915. № 3. С. 3–55.
14. *Михайлов В.Я.* Об оценке аэроснимков, применяемых для дешифрирования // Теория и практика дешифрирования аэроснимков. М.: Наука, 1966. С. 5–15.
15. *Проблемы создания региональных геоинформационных комплексов и опыт решения прикладных задач на основе аэрокосмической информации* / Под ред. В.В. Лебедева. М.: Наука, 2002. 239 с.
16. *Попов Е.Г.* Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 395 с.
17. *Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У.* Введение в гидрологию. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 470 с.
18. *Гельфан А.Н.* Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 279 с.
19. *Мезенцев В.С.* Гидрологические расчёты в мелиоративных целях. Омск: Изд-во Омского сельхоз. ин-та, 1982. 84 с.

20. Основные гидрологические характеристики. Т. 15: Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1: Верхняя и Средняя Обь / Под ред. Е.П. Шурупа. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 488 с.
21. Адаменко М.Ф., Алехина Н.М., Горбатенко В.П. и др. Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 4: Природно-климатические изменения. Томск, 2000. 270 с.
22. Инишева Л.И., Дубровская Л.И., Инишев Н.Г. Гидрологический режим верхового болота // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 1. С. 54–57.
23. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.

Поступила в редакцию 19.09.2009

Vladimir A. Bazanov¹, Oleg G. Savichev², Andrey A. Skugarev³, Julia A. Haranzhevskaja⁴

¹*Research Institute of Biology and Biophysics of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

²*Faculties of mineralogy and geochemistry of GGF of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

³*Society with limited liability «INGEOTEH», Tomsk, Russia*

⁴*Siberian Scientific Research Institute of Agriculture and Peat of Russian Academy of Agrarian Sciences, Tomsk, Russia*

E-mail: ingeotech@mail.ru

APPLICATION OF METHOD PHITOINDICATION IN HYDROLOGICAL RESEARCHES OF BOGGY TERRITORIES OF THE WESTERN SIBERIA (BY THE EXAMPLE OF THE SMALL RIVER KLUCH, TOMSK AREA)

The application of the method of phytointication on the basis of the analysis of space pictures of average resolution for the decision of hydrogeological tasks in the wetlands of the taiga zone of West Siberia is considered. By the example of a little spring «Kluch», typical for the taiga zone, a spatial interdependence between vegetation and hydrogeological conditions in the wetlands is established, which permits to use the method of phytointication to solve different hydrogeological tasks in hard-to-reach regions of West Siberia. While choosing the phytointicative indicators, the morphological and ecological characteristics of wetland plants and the character of their association with phytocenoses are taken into account. According to morphological characteristics, a classification of wetland plants of the central part of the taiga zone of West Siberia is developed. For the spring «Kluch» the morphometric characteristics are established with the help of phytointication. Also it is demonstrated that the catchment basin of this stream is 1.7 times bigger than that stipulated in Rosgidromet materials. As a result, the values of surface run-off of the spring «Kluch» have changed significantly. Besides this, the more correct values for wetland square, including treeless and forest wetland systems, have been obtained. With a glance of the characteristics obtained, an analysis both of water balance structure and temporary alterations of its elements is provided. The analysis discloses the alteration in water regime of the territory under study which is characterized with a certain decrease in the surface run-off in November and December, April–June and increase in August–September. The alteration mentioned above is connected with a statistically significant decrease in general humidification of the catchment area in April, gradual augmentation of evaporation in fall period, growth in duration of transitional fall–winter period and correspondent shortening of moisture supply in snow cover in November–December. In whole, in the nearest- and medium-term prospects, the conditions favorable for the development of wetland-formation processes in the warm period of the year and the improvement of conditions necessary to the existence of vegetation generally exacting to warmth are going to continue which, in a rather severe environment leads to intensification of peat accumulation.

Key words: *phytointication; vegetative community; wetlands; water balance; Western Siberia.*

Received September 19, 2009