УДК 58.056

Ю.И. Прейс, О.Р. Сороковенко, В.А. Бобров

СОВРЕМЕННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ ТОРФА В РЯМАХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ ЮГА ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ОТКЛИК НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ № 09-05-01077-а и 08-05-92500-НЦНИЛ_а.

Проведена оценка средней скорости прироста и аккумуляции торфа и углерода в рямах олиготрофных болот юга лесной зоны Западной Сибири за последний 40–45-летний период по данным детальных исследований и датирования по ^{137}Cs и экстремумам зольности 23 монолитов торфа. Выявлено значительное варьирование этих показателей в зависимости от исходных водных режимов и механизмов отклика на климатические изменения.
Ключевые слова: торф; аккумуляция; рям; Западная Сибирь; климат.

Реконструкция и прогноз состояний болотных экосистем Западной Сибири в условиях современного глобального потепления климата возможны лишь на основе детальных исследований, позволяющих выявить многообразие характера и трендов отклика на разномасштабных уровнях их организации.

Особенности динамики болот юга лесной зоны Западной Сибири предопределены своеобразием климатических, геокриологических и орографических условий Западно-Сибирской равнины. Наследием ледникового периода является значительная дифференциация мезо- и микрорельефа, обусловливающая мелкоконтурную неоднородность водных режимов и почвогрунтов и, соответственно, разный возраст, пути развития, автономность элементарных болотных массивов, преобладание комплексного строения на микро- и мезоландшафтном уровнях. Преломление климата элементами рельефа усиливает неоднородность экотопов созданием различий физического состояния (талое – многолетне- или длительно-сезонно-мерзлое) почвогрунтов или торфяных отложений. Исходная неоднородность водных режимов через различия влажности и плотности торфяных отложений сохраняется длительное время. Этому способствует и различие их усадок в условиях частых смен влажных и засушливых периодов континентального климата. В результате наряду с типичными болотами «нарымского» типа [1], бореального возраста, глубокозалежными, обладающими мощными буферными свойствами, здесь широко распространены болота атлантико-суббореальные, с меньшей глубиной залежи, чутко реагирующие на климатические изменения [2].

Изменения климата влияют на функциональное состояние болотных экосистем, одним из главных признаков которого является величина накопления или потерь органического вещества. Поэтому для оценки изменения их функционального состояния возможно использование метода непосредственного определения «остаточного» члена баланса углерода, современной нетто-экосистемной продукции (NEP) болотных биогеоценозов на основе определения массы поверхностного слоя торфяной залежи конкретного возраста [3]. Основной проблемой при использовании данного метода остается датирование современных слоев торфа, особенно в регионах с континентальным климатом. Частые смены влажных и засушливых лет и периодов малых климатических циклов вызывают значительные колебания уровня болотных вод. Это ограничивает возможности применения методов датирования по ^{210}Pb [4] (в связи с его повышенной подвижностью и просачиванием в нижезалегающие слои торфа [5]) и корневой шейке сосны [6] (в связи с прорастанием семян из более глубоких слоев при возврате их в аэробные условия [7]), а также по морфологическим признакам сфагновых мхов [8] (в связи со слабой выраженностью их у плотнодернинного *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. – основного доминанта сибирских олиготрофных болот). Во всем мире используется метод датирования современных слоев торфа по ^{137}Cs, поступавшему с пылью в период наземных ядерных испытаний. Слой торфа с максимальным содержанием ^{137}Cs принят как временной репер 1964 г. [9]. Поступление ^{137}Cs на территорию Западной Сибири происходило в основном в 1957–1963 гг., и он «закрепился» в горизонтах с повышенной зольностью, которая обусловлена привносом минерального вещества из Казахстанских степей. Интенсивная ветровая эрозия распаханных «целинных» земель была спровоцирована приземными и стратосферными ядерными испытаниями на Семипалатинском полигоне.

Цель исследования – определить фациальные и внутрифациальные особенности вертикального прироста и нетто-экосистемной продукции торфа и углерода в олиготрофных сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах (рямах) южно- и подтаежных болот Западной Сибири за последние десятилетия как отклик на климатические изменения.

Район исследования

Район исследования расположен в юго-восточной части лесной зоны Западной Сибири. Согласно болотному районированию [10] он входит в западносибирскую таежную область бореально-атлантических выпуклых олиготрофных моховых болот активного заболачивания и интенсивного торфонакопления, южно-таежную провинцию олиготрофных сосново-кустарничково-сфагновых и грядово-мочажинных, мезотрофных и эвтрофных сосново-березово-осоково-гипновых (или сфагновыми) и осоково-гипновых (или сфагновых) болот и подтаежную провинцию атлантических эвтрофных осоково-гипновых болот. Одними из наиболее распространенных на болотах являются сосново-кустарничково-сфагновые фации (рямы).

Данный район, как и вся Западная Сибирь, характеризуется континентальным климатом, сформированным под воздействием приносимых с запада увлажненных воздушных масс и местного континентального воздуха. Зима холодная и продолжительная с низкими температурами и

сильными ветрами, весна и осень холодные и сравнительно сухие, лето короткое, жаркое и влажное. Гидротермический коэффициент равен 1,5. Средняя годовая температура воздуха за 1936–2001 гг., по данным метеостанций (м/с) Бакчар и Томск, изменяется от –0,36 до 0,05ºС , а средняя годовая сумма атмосферных осадков – от 463 до 516 мм. При этом выражены незначительные тренды понижения показателей средней годовой температуры с конца 1920-х до конца 1960-х гг., годовой суммы осадков с начала XX в. до конца 1970-х гг. (м/с Томск) или до середины 90-х гг. XX в. (м/с Бакчар), а в более поздние периоды – тренды их повышения.

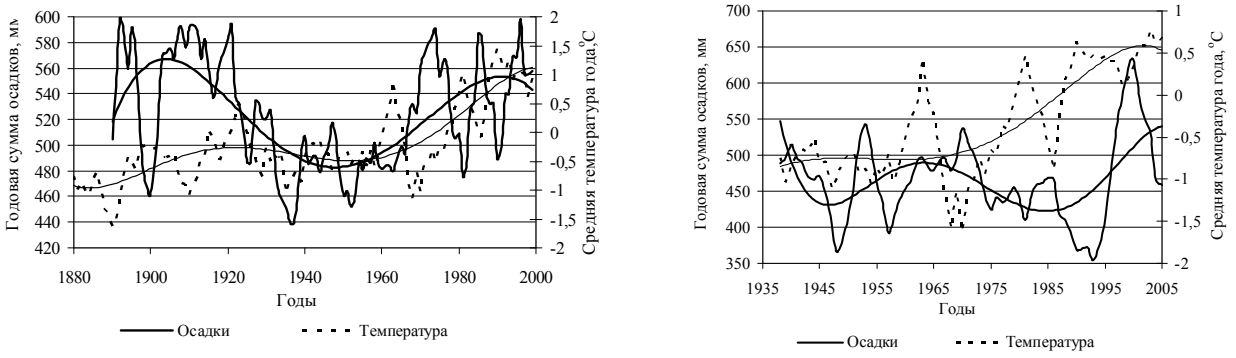


Рис. 1. Изменения средней годовой температуры и суммы осадков по данным метеостанций Томск (*А*) и Бакчар (*Б*)

Объекты и методы исследования

Исследования проводились с 2003 по 2008 г. в ранневесенние и летние периоды на шести олиготрофных болотах южной тайги и подтайги Западной Сибири в пределах Томской области. Болота Иксинское и Бакчарское являются северо-восточными отрогами Большого Васюганского болота. Они занимают водоразделы рек Шегарка, Икса и Бакчар, подстилаются лессовидными карбонатными суглинками. Болота частично осушены в 1973–1979 гг. Участок Иксинского болота, севернее трассы Шегарка–Бакчар, является основным объектом нашего исследования. Это сложная болотная система с преобладанием комплексных фаций. В его северной половине представлен эксцентричный олиготрофный болотный массив с инверсионным (над повышением минерального дна) сильнозаозеренным вершинным плато и радиальной структурой склонов из чередующихся продольных полос рямов и грядово-мочажинно-озерных комплексов, а в его южной половине на фоне сильнообводненных олиго- и мезоолиготрофных топей имеются многочисленные островки выпуклых верховиков и локальных заозеренных вершинных плато с ложбинами стока, ориентированными в разных направлениях и имеющими разные размеры, с грядово-мочажинно-озерными и озерковыми комплексами. Периферийные участки болота, как и все положительные элементы комплексов, заняты низкими и средними рямами, окрайки – рослыми рямами. На болоте Иксинское обследованные участки (56°54′–56°59′ с.ш., 82°21′–83°22′ в.д.) представлены разнообразными некомплексными и комплексными фациями, облесенными низкими и средними рямами. Обследованный участок болота Бакчарское (56°58'53" с.ш., 83°21'32" в.д.) представлен периферийным выпуклым верховиком, облесенным низким рямом. Западно-Моисеевское болото (58°11'17" с.ш., 75°41'02" в.д.) расположено на водоразделе рек Еголъях и Ягылъях, левобережных притоков р. Васюган, подстилается карбонатными суглинками. Оно является выпуклым верховиком с радиальной системой ложбин стока, занятых грядово-мочажинными комплексами. На болоте ведется нефтедобыча. Болота Кирсановское (56°21'20" с.ш., 84°31'04" в.д.) и Киргизное (56°21′28" с.ш., 84°34′16" в.д.) расположены на Обь-Томском междуречье, подстилаются песками. Болото Киргизное частично осушено в 60-х гг. XX в. Кроме того, оба болота находятся в зоне влияния Томского водозабора. Обследованный участок болота Киргизное представлен средним рямом, а болота Кирсановское – бугорково-топяным комплексом с бугорками, облесенными средним рямом. Болото Темное (56°56′ с.ш., 84°39′ в.д.) расположено на Обь-Чулымском междуречье, на II надпойменной песчаной террасе р. Томи. Оно частично осушено в конце 1980-х гг. и разрабатывалось. Обследованный олиготрофный участок, находящийся в нативном состоянии, представлен средним рямом и приозерной сплавиной со сфагновыми бугорками, облесенными низкими сосенками.

В 20 типичных олиготрофных сосново-кустар-ничково-моховых биогеоценозах этих болот были заложены пробные площади с описанием растительного покрова, микрорельефа и отбором проб из 23 торфяных разрезов (каждому торфяному разрезу был присвоен шифр, состоящий из сокращенного названия болота (Б – Бакчарское, И – Иксинское, ЗМ – Западно-Моисеевское, К – Кирсановское, Кг – Киргизное, Т – Темное) и номера разреза, а для Иксинского болота и года обследования (3 – 2003 г., 4 – 2004 г. и 5 – 2005 г.)). До глубины 24–76 см пробы отбирали из шурфа площадью 100–400 см^2 по интервалам 1–3 см. Глубже их отбирали с помощью торфяного бура Гиллера с диаметром челнока 4 см с шагом 5 см. Пробы взвешивали, затем делили на 2 части, одну из которых в сыром виде использовали для определения ботанического состава микроскопическим методом и степени разложения (R) методом центрифугирования [11]. Вторую часть взвешивали, высушивали, снова взвешивали, определяли в них аналитическую влажность и зольность по *методикам Инсторфа* [12], рассчи-

тывали плотность (Р) и скорость аккумуляции абсолютно сухого торфа (аст), его органического вещества (ОВ) и углерода (С). Было принято, что содержание С в ОВ аст составляет 46% [13].

На ранее исследованных 7 торфяных разрезах южно- и подтаежных болот Западной Сибири, датированных по ^{137}Cs и ^{210}Pb, нами выявлены четкие, близкие по глубине залегания максимумы содержания ^{137}Cs и зольности [5]. При этом, в отличие от ^{137}Cs, для которого характерен некоторый эффект просачивания в нижезалегающие слои торфа [14], образующие золу литогенные элементы являются более инертными и малоподвижными. В связи с этим мы посчитали допустимым и целесообразным в данной работе выявлять слой 1963 г. на основании одного показателя зольности. Как правило, данный слой хорошо выявляется визуально по более темному цвету. Чтобы исключить ошибку принятия за этот слой пирогенных горизонтов, проводился микроскопический анализ торфа на наличие угольков.

Для оценки влияния изменений климата на динамику торфонакопления проведена реконструкция сообществ по ботаническому составу торфов, в основу которой положено допущение, что состав растительных остатков в торфе отражает доминантное ядро палеофитоценозов и водных режимов – методом расчета индекса влажности по ботаническому составу торфов (IW) [15].

Результаты и обсуждение

Получены данные по скорости вертикального прироста ($V_{пр}$) торфа и аккумуляции ($V_{ак}$) аст, его ОВ и С за последний 40–45-летний период (с 1963 г.) в олиготрофных рямах болот юга лесной зоны Западной Сибири. Выявлены значимые различия этих показателей (рис. 2) даже для сходных по растительному покрову биогеоценозов, свидетельствующие о различии их современного функционального состояния.

Сравнительный анализ местоположений разрезов на болотном массиве, состава и структуры современных и палеофитоценозов, послойных показателей свойств торфов, индексов влажности и характера их изменений по глубине, а также данных по метеостанциям Бакчар (1936–2006 гг.) и Томск (1887–2001 гг.) и дат проведения мелиоративных работ на исследованных болотах выявил, что эти различия обусловлены, прежде всего, разным откликом на климатические изменения XX в., вызвавшие изменения уровня болотных вод (УБВ). Обсыхание на различных участках болот Иксинское, Бакчарское и Темное, судя по изменениям ботанического состава, Р и R торфов, началось в основном перед 1963 г., а частичное осушение их проводилось в 1970–1980-е гг. При этом на болоте Иксинское мелиорация мелкозалежных участков привела к их переосушению и выгоранию. Однако, согласно оценке дистанционными методами [16], существенные изменения на более глубоких участках выявились лишь на расстоянии не более 1,5 км от сети мелиоративных каналов. Это связано как с высокой водоудерживающей способностью слаборазложившихся сфагновых торфов, так и слабым стоком из дренажной сети в условиях практически невыраженных уклонов поверхности на отрогах Большого Васюганского болота. По нашим наблюдениям, на этих участках произошли изменения в растительном покрове лишь на узкой полосе (5–10 м).

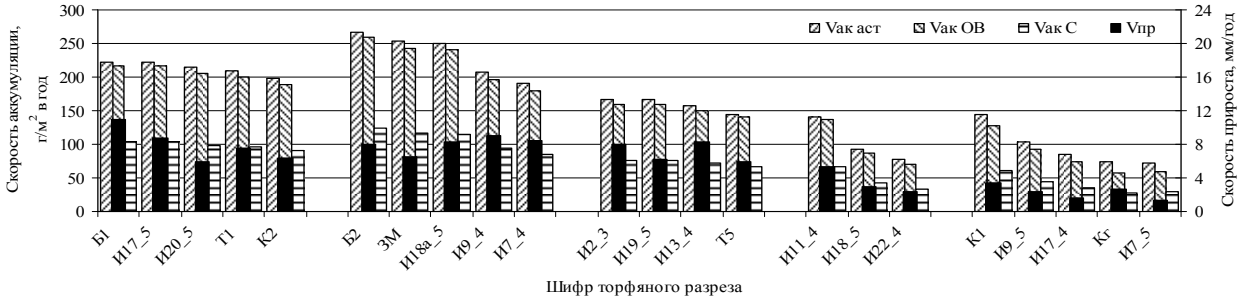


Рис. 2. Современные средние скорости вертикального прироста торфа, аккумуляции торфа, органического вещества и углерода в рямах олиготрофных болот юга лесной зоны Западной Сибири

По особенностям отклика на климатические изменения, отраженным в растительном покрове, скорости торфонакопления и свойствах торфов, выделены 5 групп рямов (рис. 3).

I группа – рямы с минимальным откликом на климатические изменения. Это типичные низкие и средние рямы с волнистым микрорельефом и наличием в понижениях, кроме доминирующего *Sphagnum fuscum, S. magellanicum* Brid. и *S. angustifolium* (Russ. ex Russ.) C. Jens. В низких рямах *Pinus sylvestris* L. *f. Litwinowii* имеет высоту (h) 1,5–2,5 (3) м, диаметр (d) 2–8 см, проективное покрытие (ПП) 30–50%. Кустарничковый ярус из багульника болотного (*Ledum palustre* L.) и мирта болотного (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench.) высотой до 50 см более обилен на повышениях, дает ПП до 50–70%. В разреженном травяном ярусе (ПП – 5–10%) произрастают пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.) и морошка (*Rubus chamaemorus* L.). Клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.) малообильна. Моховые подушки (d до 1,5–2,5 м) обычно имеют превышение над понижениями 15–25 см. В рямах гряд морошка и клюква более обильны. Средний рям отличается от низкого прежде всего более высокой сосной (h – 2,5–5,0 м, d – 3–12 см, ПП – 50%) и содоминированием в напочвенном покрове *Sphagnum fuscum, S. magellanicum* и *S. angustifolium*. Кустарничковый ярус немного выше, со сходным проективным покрытием, а травяной ярус в понижениях – более густой. Рямы этой группы занимают склоны выпуклого верховика (Б_1), уплощенные периферийные участки болот (И20_5, Т_1), высокие гряды приозерного грядово-топяно-озеркового комплекса локального плато (И17_5), а также склоны крупных бугорков бугорково-

топяного комплекса (К_2). Все эти участки примыкают к топям или сплавинам озер, что, вероятно, способствовало сохранению присущих им водных режимов в условиях глобального понижения УБВ.

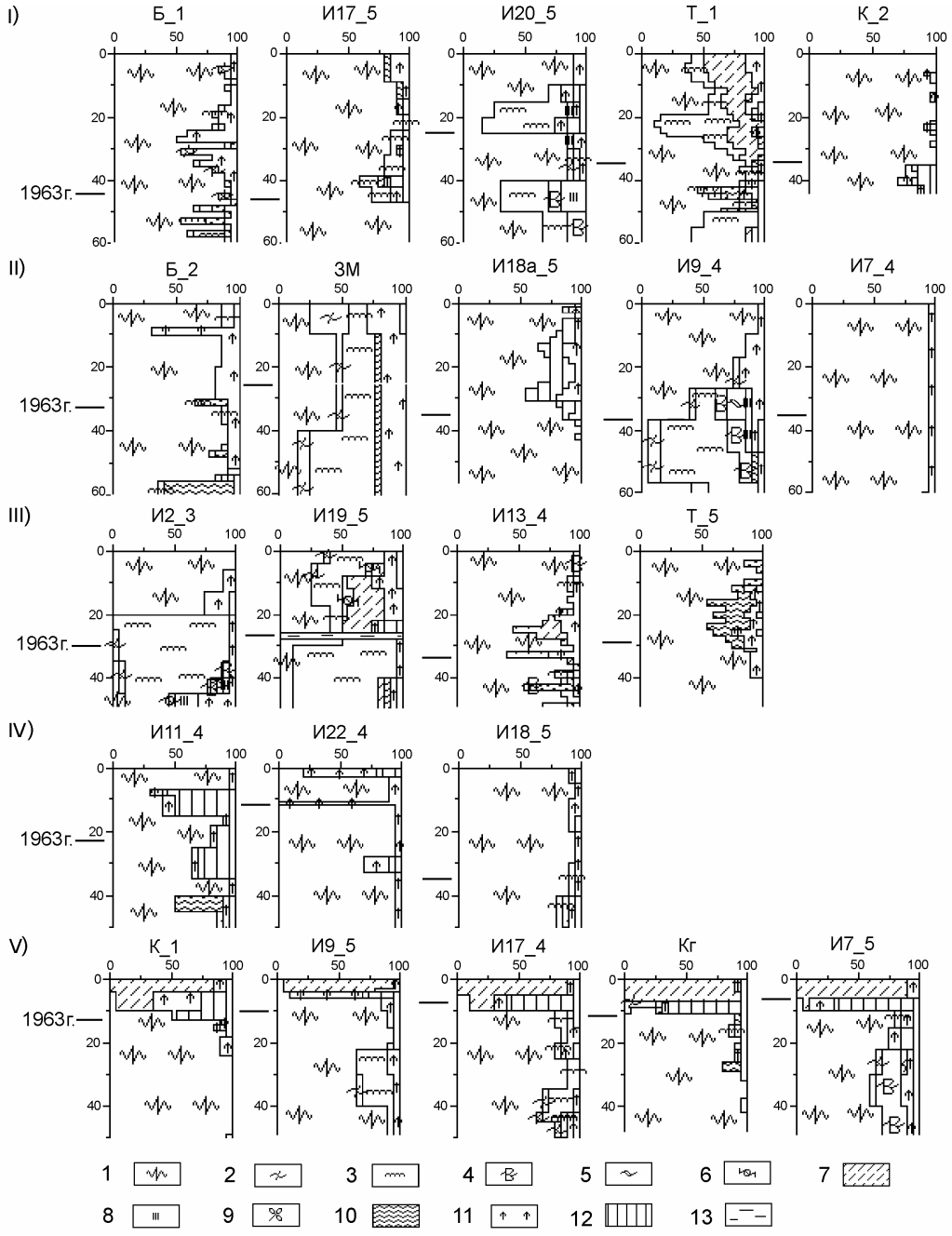


Рис. 3. Стратиграфия верхних слоев торфяных разрезов в рямах олиготрофных болот юга лесной зоны Западной Сибири. Растительные остатки в торфе: *1 – Sphagnum fuscum*; *2 – S. angustifolium*; *3 – S. magellanicum*; *4 – S. balticum*; *5 – S. majus*; *6 – S. flexuosum*; *7* – гипновые мхи; *8* – шейхцерия; *9* – вахта; *10* – пушица; *11* – вересковые кустарнички; *12* – древесные остатки; *13* – вода. Обозначения: I–V – номера групп рямов; 1963 г. – временной репер

Слой торфа, отложившийся с 1963 г., имеет толщину 27–44 см и обычно достаточно мощный (до 25 см) очес. В зависимости от места отбора он образован *Sphagnum fuscum* или смесью остатков мхов-содоминантов (рис. 3, I).

Диагностическим признаком группы является характерное для эндогенного развития согласованное понижение показателей R и P к поверхности, иногда нарушенное экстремумами этих показателей, совпадающими с деятельным горизонтом, обогащенным корнями кустарничков (рис. 4, I).

Для рямов этой группы характерны высокие $V_{пр}$ – 6,4–11,0 мм/год и $V_{ак}$ аст – 199–223 г/м^2 в год, $V_{ак}$ С – 86,9–99,4 г/м^2 в год (см. рис. 2). Варьирование $V_{ак}$ обусловлено, прежде всего, различием первичной продукции внутрифациального уровня в связи с неоднородностью древесного и травяно-кустарничкового ярусов. Так, в пределах даже одной сфагновой подушки, в зависимости от обилия корешков вересковых кустарничков, $V_{пр}$ изменяется от 9,8 до 11,0 мм/год, а $V_{ак}$ аст – от 185 до 223 г/м^2 в год. В среднем ряме (Т_1) более низкая $V_{ак}$ аст обу-

словлена значительным участием в напочвенном покрове рыхлодернинных *Sphagnum magellanicum*, *Polytrihum strictum* Brid. и *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr как следствие былого пожара.

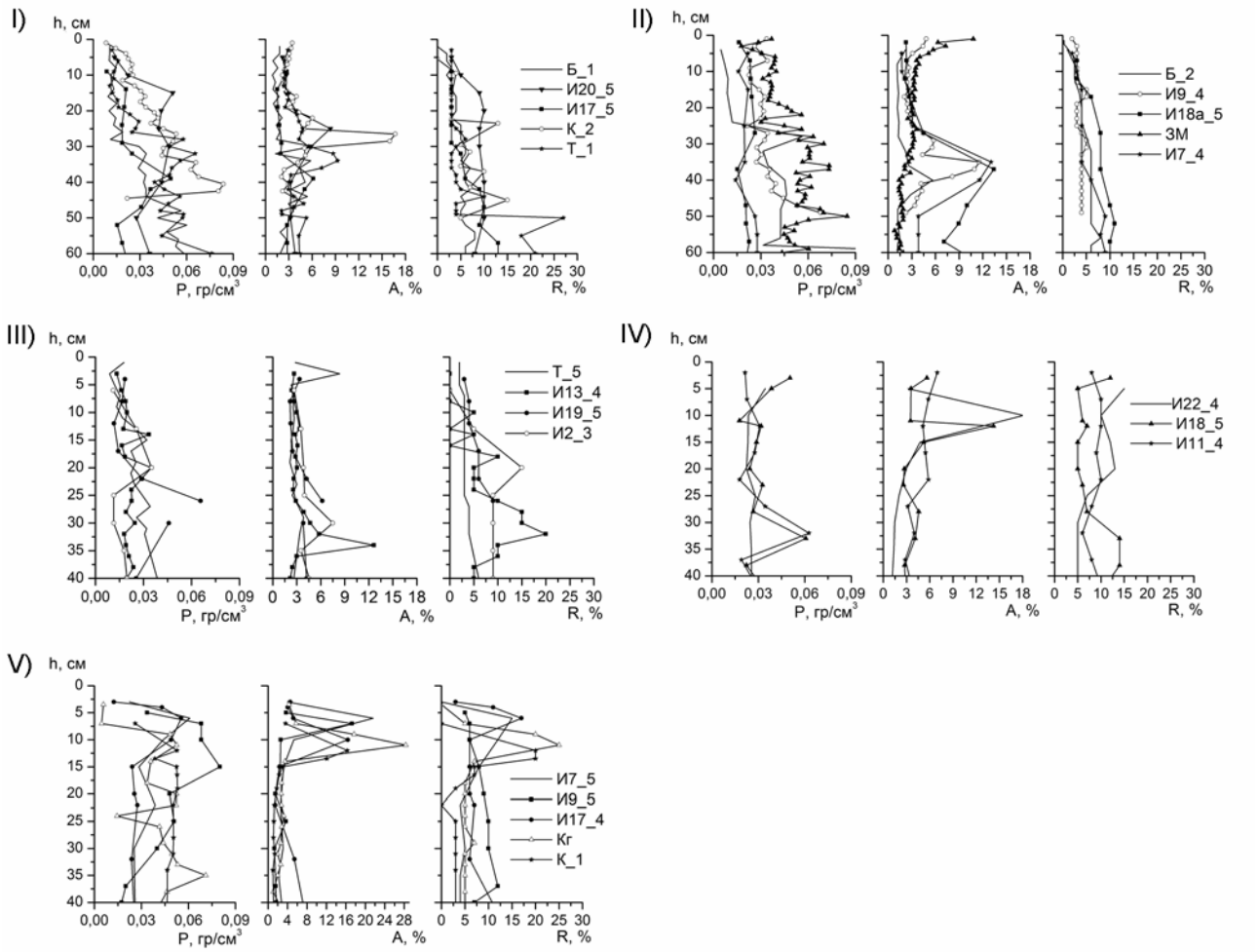


Рис. 4. Изменение свойств торфа по глубине в верхних слоях торфяных разрезов I–V групп рямов

II группа (см. рис. 3, II) – рямы с положительным откликом на климатические изменения. Это низкие рямы, сходные по структуре и видовому составу растительности с рямами 1-й группы, но, как правило, с более высокими (до 0,4 м) моховыми подушками или кочками. Рямы этой группы занимают вершины выпуклых верховиков (Б_2, И7_4), приствольные высокие кочки со *Sphagnum fuscum* рямов верхней части склона центрального сильнозаозеренного вершинного плато (И18а_5), высокие гряды грядово-топяно-озерного комплекса крупной ложбины стока на месте тальвега древнего водотока (И9_4) и высокие гряды грядово-мочажинного комплекса ложбины стока на склоне выпуклого верховика (ЗМ).

Диагностическим признаком группы является сочетание относительно постоянной P при закономерном снижении R к поверхности (рис. 4, II). Постоянство P является результирующей противоположно направленных процессов: увеличение продуцируемой биомассы к поверхности и возрастания ее гумификации по мере отложения торфа. Увеличение продуцируемой биомассы является откликом на некоторое понижение УБВ, реализуемым через изменения структуры или видового состава растительных сообществ: 1) увеличение обилия кустарничков и их корешков (Б_2, И9_4, И18а_5, ЗМГ); 2) возрастание доли участия плотнодернинного *Sphagnum fuscum* за счет уменьшения *S. magellanicum*, имеющего более рыхлую дернину и первичную продукцию (ЗМ); 3) увеличение плотности сфагновой дернины за счет образования боковых дополнительных побегов у мхов (И7_4, Б_2, И18а_5).

Для рямов этой группы характерны максимальные $V_{ак}$ аст – 190–267 г/м^2 в год и $V_{ак}$ С – 82,8–119,1 г/м^2 в год при несколько меньшей толщине (26–37 см) слоя и соответственно $V_{пр}$ – 6,5–9,0 мм/год. Наиболее низкие $V_{ак}$ аст обусловлены меньшей плотностью дернины *Sphagnum fuscum* в условиях достаточно высокого обводнения на протяжении большей части вегетационного периода (И9_4) или получены в связи с опробованием залежи между куртинами кустарничков (И7_4).

III группа (см. рис. 3, III) – рямы с двойным, противоположно направленным откликом на климатические изменения. Это низкие рямы низких и средних (10–20 см) гряд различных комплексов, находящиеся в настоящее время в подтопленном состоянии. Сосна имеет h – 1,0–2,5 м, d – 1,5–8,0 см, ПП – 10–30%. Кустарничковый ярус из багульника и мирта обычно разрежен, но в нем появляется подбел (*Andromeda polifo-*

lia L.). Более обильными становятся пушица, морошка и клюква. В травяном ярусе присутствуют *Carex limosa* L., *Scheuhzeria palustris* L., иногда *Menyanthes trifoliata* L. Существенную примесь в моховом покрове дают *Sphagnum magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. balticum* (Russ.) Russ. ex C. Jens. Рямы этой группы встречены на уплощенных центральных и периферийных участках: в грядово-озерном (И2_3), грядово-топяно-озерном (И19_5) и грядово-топяно-озерковом (И13_4) комплексах, а также на низком бугорке на приозерной сплавине (Т_5).

С 1963 г. отложилось 26–35 см торфа. Верхняя часть этого слоя образована фускум-торфом, реже кустарничково-сфагновым, а нижняя – пушицево-сфагновым, кустарничково-моховым (с примесью *Polytrihum strictum*) или кустарничково-сфагновым. Ниже залегает фускум-или магелланикум-торф. Такой характер смен видов торфа, а также более высокие показатели P или R в нижней части слоя и постепенное понижение их к поверхности свидетельствуют, что сначала происходило обсыхание поверхности гряд, а затем их подтопление. Обсыхание началось в основном перед 1963 г., а на гряде И2_3 – позже.

Это вторичные гряды, сформировавшиеся на сильнообводненных топях или сплавинах озер. В связи с расположением на уплощенных участках болотных массивов они периодически подвергались подтоплению или затоплению, о чем свидетельствуют встречающиеся под ними прослойки воды или разжиженного торфа. Их нестабильность обусловлена и слабым развитием несущего каркаса для сфагновых мхов – стволов и корешков кустарничков и сосен. Поэтому они относительно быстро погребаются при активном торфонакоплении в окружающих топях. При повторном обследовании сплавины озера Мурашка (б. Темное), на месте сфагновых бугорков с одиночными сосенками (h – 0,7–1,2 м), имевших в 1999 г. высоту 15–25 см, в 2008 г. нами выявлены лишь пятна из *Sphagnum fuscum* с примесью *S. magellanicum*, *S. angustifolium*, *S. balticum* и травяно-кустарничковым ярусом из смеси рямовых и топяных видов сосудистых растений.

Характер изменения показателей R и P по глубине аналогичен I-й группе, поэтому диагностическими признаками III группы являются изменения ботанического состава торфов, отражающие понижение, а затем повышение УБВ (см. рис. 4, III).

Показатели $V_{пр}$ равны 6,0–8,3 мм/год и сходны с аналогичными для рямов I и II групп. Более низкие показатели $V_{ак}$ – 144–166 г/м^2 в год и $V_{ак}$ C – 64,4–73,1 г/м^2 в год обусловлены значительным участием *Sphagnum magellanicum* в напочвенном покрове былых или современных растительных сообществ (Т2_3, И2_3) или же низкой плотностью торфа в связи с тем, что отмершие части мха в условиях достаточно высокого обводнения длительное время сохраняют вертикальное положение (И13_4, Т_5).

IV группа (см. рис. 3, IV) – рямы с сильным отрицательным откликом на климатические изменения. Это низкие рямы с плотным напочвенным покровом из *Sphagnum fuscum* с пятнами лишайников и печеночных мхов, т.е. с развитыми регрессивными явлениями, вызванными значительным обсыханием. Сосна имеет h – 1,0–2,0 (4,0) м, d – 3–8 (16) см, ПП – 10–40%. На кочках хорошо развит кустарничковый ярус из багульника и мирта, *Sphagnum fuscum* образует дернины с мелкими плотно сомкнутыми головками мха (И11_4). В понижениях появляется подбел, иногда обильна морошка, имеющая угнетенный мелкий габитус, на фоне мертвопокровных пятен лишайники образуют очес 1–2 см (И18_5, И_22_4). Рямы занимают хорошо дренированные с выраженными уклонами поверхности периферийные участки (И11_4). Они также встречаются на верхних участках склонов сильнозаозеренных вершинных плато: центрального – в межкочечных понижениях (И18_5) и локального субширотного – на тонущих грядах грядово-топяно-озеркового комплекса (И22_4). Значительному обсыханию рямов способствуют не только приуроченность их к наиболее высоким гипсометрическим уровням поверхности болотной системы, но и соседство с крупными глубокими (2,5–3,0 м) вторичными озерами.

С 1963 г. отложилось в понижениях всего лишь 12 см торфа, а на кочках – 22 см. Этот слой образован фускум-торфом с прослойками кустарничкового или соснового торфов.

Диагностическими признаками группы являются более высокие по сравнению с предыдущими группами значения P и R и возрастание их к поверхности (рис. 4, IV).

Показатели $V_{пр}$ – 2,4–5,4 мм/год, $V_{ак}$ – 78–140 г/м^2 в год и $V_{ак}$ C – 32,7–63,0 г/м^2 в год значительно ниже, чем в первых трех группах. Это обусловлено резким снижением первичной продукции, особенно на участках с мертвопокровными пятнами и лишайниками (И18_5, И22_4), а также активным разложением торфа. Об активном разложении торфа свидетельствует его сработка на 2–4 см на одном из исследованных разрезов (И22_4). Толщина сработки торфа определена по высоте оголившихся оснований стволов подроста сосны ниже их утолщения, возникшего в результате исчезновения угнетающего воздействия растущей сфагновой дернины.

V группа (см. рис. 3, V) – рямы с максимальным отрицательным откликом на климатические изменения. Это низкие и средние рямы с лесной подстилкой из *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. Сосна имеет h – 1,5–5,0 (6,0) м, d – 3–12 (22) см, ПП – 30–60%. Густой кустарничковый ярус из багульника и мирта имеет ПП до 70–100%. В напочвенном покрове доминирует *Pleurozium schreberi* с примесью *Dicranum polysetum* Sw. и лишайниками родов *Cladina* и *Cladonia*. Встречаются мертвопокровные пятна. Зеленомошные рямы занимают наиболее дренированные участки болот: вершины высоких (до 0,6 м) бугров, гряд крупнозерных комплексов центрального плато (И7_5, И9_5), крупных ложбин стока (И17_4), бугорково-топяного комплекса (К_1), а также антропогенно осушенное болото (Кг).

Слой торфа, отложившийся с 1963 г., имеет толщину 6–12 см, представляет собой лесную подстилку, образованную очесом из гипнового мха и среднеразложившимся верховым сосновым торфом. Этот торф состоит из неразложившихся остатков мха, мелких веточек, корешков, хвои, листочков сосен и вересковых кустарничков и хорошо разложившегося гумуса.

Диагностическими признаками группы является лесной тип почвообразования, резкие, узкие экстремумы A, R и P, что свидетельствует о значительном обсыхании поверхности болот, начавшемся в начале 60-х годов (см. рис. 4, V).

Для этой группы рямов характерны минимальные $V_{пр}$ – 1,4–3,4 мм/год, $V_{ак}$ аст торфа – 72–144 г/м^2 в год и $V_{ак}$ С – 27,1–58,4 г/м^2 в год, что обусловлено низкой продуктивностью напочвенного покрова лесных зеленых мхов, высокой трансформацией ранее отложенного и продуцируемого в настоящее время органического вещества.

Показатели $V_{ак}$ аст торфа и $V_{пр}$ имеют общую тенденцию снижения по мере усиления отклика на изменения климата. Однако полной согласованности в их изменениях нет. Это обусловлено тем, что $V_{пр}$ зависит не только от скорости накопления первичной продукции, но и от механизмов отклика, и от времени полегания и приобретения стебельками мхов горизонтального положения. Последнее, в свою очередь, зависит от степени обводненности всего участка, амплитуды сезонных и годовых колебаний уровня болотных вод, толщины снежного покрова, морфологических особенностей дерновин у разных видов мхов. Так, в I группе низкая $V_{пр}$ в периферийном среднем ряме (И20_5) обусловлена быстрым полеганием стебельков мха в связи с частыми колебаниями УБВ на этом относительно неглубоком (2,2 м) участке; в III группе высокие $V_{пр}$ – более поздним и соответственно менее продолжительным обсыханием (И2_3) или формированием рыхлых моховых дернин (И13_4) в условиях высокого обводнения всего комплексного участка; в V группе – более мощным развитием очеса из лесного мха (Кг) в условиях обсыхания под влиянием двух факторов (природного и антропогенного).

Имеют общую тенденцию изменения по мере усиления отклика на климатические изменения и средние показатели торфа слоя, отложившегося с 1963 г.: $IW_{ср}$ – тенденцию понижения, а $R_{ср}$ и $A_{ср}$ – повышения (рис. 5).

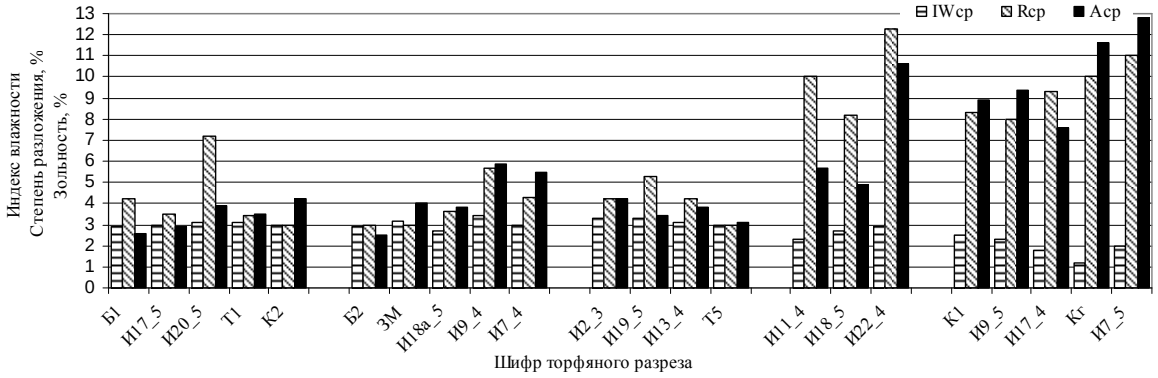


Рис. 5. Средние показатели индекса влажности, степени разложения и зольности слоя торфа, отложившегося с 1963 г. в разрезах рямов олиготрофных болот юга лесной зоны Западной Сибири

В группах низких и средних рямов эндогенного развития со *Sphagnum fuscum* и их производных выявлены значимые положительные корреляционные зависимости (0,66–0,69) $V_{пр}$, $V_{ак}$ и $IW_{ср}$ и отрицательные (–0,64...–0,83) – этих показателей с $A_{ср}$ и $R_{ср}$, что подтверждает их сукцессионную связь.

Судя по свойствам нижезалегающего слоя торфа, в основном фускум, низкой степени разложения, в предшествующий (до 1963 г.) период водные режимы и растительный покров исследованных биогеоценозов, а соответственно, и $V_{пр}$, $V_{ак}$ торфа имели менее значимые различия. При допущении, что исходное состояние биогеоценозов производных рямов было сходно с рямами эндогенного развития, климатически обусловленные повышения $V_{ак}$ аст и С во II группе составляют 5–20%, а потери от снижения их продуктивности и увеличения трансформации ОВ торфа в III–V группах равны соответственно 20–25%, 40–55 и 35–65%.

Таким образом, отклик рямов на изменения климата неоднозначен и имеет как положительный, так и отрицательный тренд. Тренд отклика зависит от состояния лимитирующего фактора – исходного водного режима: знака и степени отклонения от биоценотического оптимума. Сила отклика зависит от времени, необходимого для достижения порога увлажнения, при котором начинается перестройка структуры и видового состава биоценоза. Поэтому при одновременном начале воздействия изменений климата отклик биоценозов в разных точках болотного массива асинхронен и изменения их функционального состояния на конкретный момент времени различны. Исходный водный режим в каждой точке зависит от ее местоположения на определенных элементах мезо-, микро- и нанорельефа болотного массива. Его изменение является результирующей изменений водных режимов не только всех этих элементов, но и соседних. Это приводит к значительной пространственной вариабельности функционального состояния биоценозов и, соответственно, показателей нетто-экосистемной продукции.

Значительные изменения функционального состояния рямов южно- и подтаежных болот Западной Сибири, вызванные климатическими изменениями, имеющими слабые тренды, свидетельствуют о чутком их отклике и высокой индикаторной значимости для реконструкций климата даже на внутривековом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бронзов А.Я.* Верховые болота Нарымского края // Тр. науч.-иссл. торф. ин-та. 1930. Вып. 3. 100 с.

2. *Прейс Ю.И.* Региональные особенности болотообразовательного процесса в лесной зоне Западной Сибири // Материалы III Всероссийской школы-конференции «Актуальные проблемы геоботаники». II часть. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 132–136.

3. *Вомперский С.Э.* О методологии оценок современной нетто-экосистемной продукции (NEP) болота // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго Междунар. полевого симп. / Под ред. С.Э. Вомперского. Томск: Из-во НТЛ, 2007. С. 11–13.
4. *Appleby P.G.* The calculation of lead – 210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment // Catena. 1978. Vol. 5. P. 1–8.
5. *Прейс Ю.И. Бобров В.А, Сороковенко О.Р. Шарапова Т.А.* Современная аккумуляция торфа на болотах южной тайги Западной Сибири // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Второго Междунар. полевого симп. / Под ред. С.Э. Вомперского. Томск: Из-во НТЛ, 2007. С. 22.
6. *Сукачев В.Н.* Экскурсия на торфяное болото // Избранные труды. Т. II: Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии. Л.: Наука, 1973. С. 77–96.
7. *Прейс Ю.И., Бобров В.А., Сороковенко О.Р.* Возможно ли датирование современных слоев торфа по корневой шейке сосны в регионах с континентальным климатом? // Материалы российской конференции «Седьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу» / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: Аграф-Пресс, 2007. С. 358–360.
8. *Мульдияров Е.Я., Лапшина Е.Д.* Датировка верхних слоев торфяной залежи, используемой для изучения космических аэрозолей // Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука, 1983. С. 75–84.
9. *Clymo R.S.* The limits to peat bog growth // Philosophical Transhections of the Royal Society of London. 1984. Series B. Vol. 303. P. 605–654.
10. *Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А.* и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под ред. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
11. *Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И.* Торфяные месторождения и их разведка. М.: Недра, 1977. 264 с.
12. *Лиштван И.И., Король Н.Т.* Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 318 с.
13. *Лапшина Е.Д.* Болота юго-востока Западной Сибири (ботаническое разнообразие, история развития и динамика накопления углерода в голоцене): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 41 с.
14. *Ефремова Т.Т., Сухоруков Ф.В., Ефремов С.П., Будашкина В.В.* Аккумуляция ^{137}Cs в болотах междуречья Оби и Томи // Почвоведение. 2002. № 1. С. 100–107.
15. *Елина Г.А., Юрковская Т.К.* Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Ботанический журнал. 1992. Т. 77, № 7. С. 120–124.
16. *Базанов В.А., Егоров Б.А., Льготин В.А., Скугаров А.А.* Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья рек Икса-Шегарка) // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под общей ред. чл.-кор. РАН М.В. Кабанова. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 190–195.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 1 декабря 2009 г.