

УДК 574.4

Торфяные экосистемы в стратегии устойчивого развития биосферы

Инишева Л. И., Сергеева М. А., Дырин В. А., Смирнов О. Н.

В свете года В.И. Вернадского в работе рассматривается экологическое состояние биосферы, оценивается эмиссия диоксида углерода и метана болотами Сибири. На основании базы данных по эмиссии парниковых газов проведено ранжирование по заданным интервалам и разработана схема районирования территории Западной Сибири по эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: экология, климат, торфяно-болотные экосистемы, Западная Сибирь, парниковые газы, районирование.

Peat ecosystems in the strategy of sustainable development of the biosphere

Inisheva L. I., Sergeeva M. A., Dyrin V. A., Smirnov O. N.

In the light of V. I. Vernadsky year, in the paper the ecological condition of the biosphere, emission dioxide of carbon and methane is estimated by Siberia bogs is considered. On the basis of a database of greenhouse gases emissions is carried out scheme of zoning of the territory of Western Siberia on emission greenhouse gas.

Keywords : ecology, climate, peat-bog ecosystem, West Siberian, greenhouse gases, zoning.

Введение

Год 2013 посвящен экологии и В. И. Вернадскому. Это определяет необходимость проанализировать и оценить состояние с экологией за определенный промежуток времени.

Вернемся к 1992 году. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.). «Если человечество действительно разумно, как это следует из названия биологического вида, к которому все мы принад-

лежим, то июнь 1992 года и Конференция в Рио-де-Жанейро войдут в историю как вехи, отмечающие начало сознательного поворота нашей цивилизации на новый путь развития», так оценил значение этого мероприятия В. А. Коптюг, президент СО АН СССР[5].

Чрезмерная эксплуатация природы грозит ответными реакциями, губительными для человечества. Осознание этого и явилось побудительным мотивом созыва Конференции ООН по окружающей среде и развитию на уровне глав государств и правительств. Подводя итоги работы Конференции, ее Генеральный секретарь Морис Стронг подчеркнул беспрецедентный масштаб и значимость этого события. «Мир после Конференции должен стать другим», — заявил он. «Другой должна стать дипломатия и система международных отношений, другой должна стать и Организация Объединенных Наций, и правительства, принявшие на себя обязательства двигаться к устойчивому развитию.» Об этом же говорил еще в 1943 году Владимир Иванович Вернадский: «человек становится могучей геологической силой» и изменяет природу, к сожалению, не всегда в лучшую сторону».

Ученые Д. Медоуз и др., начав с 1992 года, в течение 60 лет изучали, что произойдет в мире, если сохранятся существующие на данный момент времени тенденции роста населения, промышленного и сельскохозяйственного производства, нерационального использования не возобновляемых природных ресурсов, загрязнения окружающей среды. Результаты, полученные этими исследователями, свидетельствуют о наличии в современный период существенной нагрузки на биосферу. Состояние ее развития становится крайне неустойчивым[9]. Согласно авторам, в настоящее время мы превысили этот предел более, чем на 20%. Рассмотрим это положение на примере газового состава атмосферы.

Современное содержание CO_2 в атмосфере увеличилось за XX век с 280 до 360 ppm, что как раз связано с деятельностью человека. За последние 100 лет содержание углерода в атмосфере выросло на 30%. Если сжигание ископаемого топлива будет продолжаться современными темпами, содержание CO_2 удвоится уже к 2060 г., что, согласно Межправительственной комиссии по изменению Климата (МКИК), способно вызвать рост средней глобальной температуры от 1,5 до 4,5 °C. Таким образом, увеличение содержания углерода в атмосфере также подтверждает тот факт, что человечество уже вышло за пределы устойчивого развития биосферы.

Конференция «РИО+10» в Йоханнесбурге в 2002 г и 16-я Конференция Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата в г. Канкун (Мексика,

2010г.) не смогли принять каких-либо решений о заключении преемника Киотского протокола. Это свидетельствует о том, что за прошедший период получены не все ответы на вопросы, возникшие в связи с изменением климата. В этой связи вопрос о роли парниковых газов в изменении климата биосферы с повестки не снят.

Начиная с позднего плейстоцена, для которого концентрация углекислого газа в атмосфере известна на основании результатов анализов пузырьков воздуха из антарктических и гренландских ледяных кернов (200 ppmv), содержание CO₂ увеличивалось. За последние 17—18 тыс. лет атмосфера аккумулировала не менее 170 миллиардов тонн углерода (С) и средняя скорость аккумуляции составляла 20—30 миллионов тонн С/год. Пул органического углерода увеличился с 625 миллиардов тонн (Гт) углерода (существовавший 18000 лет назад) до 2100 Гт С в настоящее время [4]. В увеличении почвенного пула С, несомненно, оказалась велика роль развития болот и накопления в них торфа. Россия владеет самой крупной в мире территорией и обладает богатыми природными ресурсами. Ценность таких территорий будет в дальнейшем возрастать. Торфяные болота связывают больше углерода в единицу площади, чем все другие сухопутные экосистемы, включая лесные. Поэтому оценка поглощения и эмиссии парниковых С-газов торфяными болотами требует детального анализа с учетом пространственных и временных параметров.

В этой работе целью является оценка эмиссии парниковых газов в болотных экосистемах разного генезиса.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на 3-х стационарах: Васюганье, Таган, Горный Алтай (рис.1).

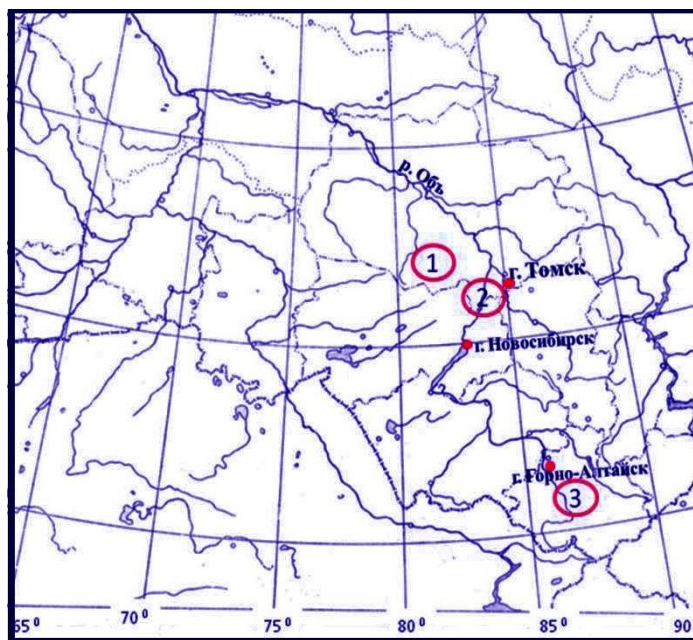


Рисунок 1 — Расположение болотных стационаров на территории Сибири: 1 — Васюганье, 2 — Таган, 3 — Горный Алтай.

Стационары располагаются на территории Сибири, относящейся по болотному районированию О. Л. Лисс и др. [8] к северобарабинскому округу подтаежных эвтрофных осоково-гипновых болот и барнаульскому округу лесостепных эвтрофных тростниково-осоково-вейниковых болот.

Олиготрофные торфяные болота стационара Васюганье подстилаются плотными водонепроницаемыми глинами Ширтинского и Тазовского объединенных горизонтов. В основании озерно-болотные отложения имеют слой мощностью до 0,8 м сильно илистой темно-серой гумусированной глины, иногда содержащей раковины пресноводных моллюсков. Растительность относится к сосново-кустарничково-сфагнувой ассоциации с низкой сосной. Залежь имеет смешанный топяной вид строения. Верховой торф представлен двумя видами — слабой степени разложения фускумом (40 % участия) и средней степени разложения магелланикумом (10 % участия) — образуют слой 1,5 м. В основании торфяной залежи лежит слой мощностью 30 см (10 % участия) папоротникового низинного торфа высокой степени разложения (50 %). Над ним более мощный слой осокового низинного торфа (40—50 %). На контакте двух пластов — верхового и низинного — располагается слой торфа переходного типа, отложенный когда-то существовавшими здесь мезотрофными растительными сообществами — древесно-осоковым и древесно-сфагновым.

Эвтрофное болото «Таган» с площадью более 4тыс. га, располагается в древней ложбине стока р. Томи, подстилающими породами служат пески, супе-

си и суглинки. На болоте исследования проводились в 2-х пунктах. Пункт 1 (56°21' с.ш., 84°47' в.д.) представлен торфяной залежью мощностью около 3 м и возрастом — 3445±50 лет. Торфяная залежь сложена травяным и древесно-травяным торфом со степенью разложения от 25 (с поверхности) до 55 % на глубине 3 м [1]. Пункт 1 (56°21' с.ш., 84°47' в.д.) представляет собой целинный участок. Торфяная залежь низинного типа, мощностью до 3 м сложена снизу вверх древесным торфом (175—200 см), затем следуют древесно-травянистые торфа (50—175 см), частично определённые как вахтовые (50—100 см). Верхний слой представлен травяным (25—50 см) и древесным (0—25 см) торфами. Пункт 2 расположен на расстоянии 75—100 м от п. 1, и представляет собой участок, на котором проведена агролесомелиорация (борозды глубиной 0,5 м и расстоянием между бороздами 2—3—4 м).

Болота Горного Алтая развиваются преимущественно в долинах рек и имеют современное происхождение. Процесс болотообразования в Горном Алтае происходит путем зарастания стариц и долинных озер, а также заболачивания суши, лесов и лугов. На этой территории 2 пункта наблюдений. Торфяная залежь экосистемы Турочакское (52°13' с.ш. и 87°06' в.д.) низинного типа в среднем 2,5 м мощностью торфяной залежи при экстремальных значениях 0,6—6,0 м сложена древесно-осоковым торфом (0—150 см) средней степени разложения (20—35 %) и травяным торфом высокой степени разложения. В основании залежи отмечается горизонт (до 2,5 м) органо-минеральных отложений. Возраст болота — 7060±90 лет.

Торфяное болото Кутюшское (52°18' с.ш. и 87°15' в.д.) характеризуется смешанным атмосферно-грунтовым питанием, является переходным по типу залежи и относится к долинному типу. Верхний двухметровый слой болота сложен переходными торфами, которые по видовому составу представлены (сверху вниз): сфагновым, шейхцериевым, шейхцериево-осоковым видами торфа. Их степень разложения изменяется в широких пределах от 5 до 40 % (0—15 % в верхней части залежи и 35—40 % с глубины 150 см), зольность 6—9 %. Средняя мощность торфяной залежи — 1,4 м, с экстремальными значениями — 0,3—2,1 м.

Радиоуглеродное датирование торфяных залежей было проведено на радиоуглеродной установке QUANTULUS-1220 (бензольно-сцинтилляционный вариант) в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск), ботанический состав и степень разложения торфа — ГОСТ 28245-89. В течение вегетационного периода (май, июль, сентябрь) проводили определение концентрации CO₂ и CH₄ в профиле торфяных залежей ландшафтного профиля «reepers»-методом. Прибор для

определения концентрации диоксида углерода и метана был предоставлен Институтом геологии Университета де Неушатель (Швейцария). Анализ газа осуществляли на газовом хроматографе «Кристалл-5000.2». Измерение эмиссии CO_2 и CH_4 проводили камерным методом. Одновременно велись наблюдения за уровнем болотных вод (УБВ), температурой торфяной залежи.

Результаты и обсуждение

Многолетние исследования, проведенные нами по динамике эмиссии парниковых газов из болот, показывают, что в количественном отношении они в среднем имеют показатели в пределах 90-120 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2*\text{ч}$ при экстремальных значениях 4,6 — 480 мг $\text{CO}_2/\text{м}^2*\text{ч}$ и по метану соответственно 3—8, при экстремальных 1,2 -60,0 мг $\text{CH}_4/\text{м}^2*\text{ч}$ (безусловно отрицательные значения не исключаются). Широкая вариабельность этих показателей в торфяно-болотных экосистемах разного генезиса продемонстрирована в ряде работ.

Исследователи отмечают, что эмиссия парниковых газов из болот определяется температурой и условиями увлажнения [10]. Рассмотрим это положение на примере вегетационного периода (весна, лето, осень) в разных по генезису торфяных экосистемах (таб.1).

Таблица 1 — Эмиссия CO_2 и CH_4 разными торфяными экосистемами, мг/м²*ч

Объекты исследования	2011 г.			2012 г.		
	май	июль	сентябрь	май	июль	сентябрь
CO_2						
Таган, п.1, Н	73,8±1,1	102,0±3,8	89,1±2,6	72,3±1,6	14,5±0,7	129,2±3,7
Таган, п.2, Н	12,7±0,8	98,2±1,7	104,0±3,8	79,2±0,2	31,1±1,0	84,0±1,5
Васюганье, В	-22,2±1,4	31,2±0,7	16,2±1,7	47,4±0,7	14,6±0,8	12,0±0,2
Алтай, Кутюшское, П	89,6±2,4	53,0±1,8	49,1±0,5	93,2±0,3	74,8±0,5	34,9±1,8
Алтай, Турочак, Н	-42,6±0,6	26,1±0,6	-	17,2±1,3	49,7±1,3	27,0±0,7
CH_4						
Таган, п.1, Н	5,1±0,2	4,1±0,5	1,6±0,5	11,4±1,1	0,1±0,0	0,9±0,0
Таган, п.2, Н	2,0±0,0	3,5±1,1	2,1±0,4	33,9±1,5	2,3±0,1	-0,6±0,0
Васюганье, В	-2,9±0,1	2,1±0,3	1,1±0,1	1,56±0,6	3,4±0,1	0,1±0,0
Алтай, Кутюшское, П	12,3±1,8	10,4±0,8	7,0±0,9	28,9±2,7	0,6±0,0	0,5±0,0
Алтай, Турочак, Н	-9,1±0,6	8,0±1,3	8,6±1,7	1,2±0,2	-1,6±0,0	-

Примечание: Н — низинные (эвтрофные) болота, В – верховые (олиготрофные), П — переходные; «-» — эмиссию не определяли.

Наиболее низкие показатели эмиссии диоксида углерода характерны для олиготрофных болотных экосистем Васюганья и в мае наблюдалось поглоще-

ние CO₂. В болотных экосистемах Горного Алтая отмечается иная закономерность — больше CO₂ выделяют болота низинного типа. Пределы изменения диоксида углерода от -22,2 до 129,2 мг/м²*ч и можно констатировать, что с сезоном вегетационного периода скорость выделения диоксида углерода никак не связана.

В отношении скорости выделения метана такая закономерность отмечается. Весной возрастает активность его выделения, иногда происходит поглощение метана. Пределы параметров динамики метана — от -9,1 до 33,9 мг/м²*ч. В 2011 г. наибольшие показатели отмечались на Кутюшском болоте. Наиболее активен процесс эмиссии метана весной и не зависит от мощности торфяной залежи. Практически все исследуемые болота имеют мощность торфяной залежи 3 м и только болото Турочакское — 6 м. Однако пределы изменения динамики метана в болоте Турочакское аналогичны другим исследуемым болотам, мощность залежи которых не превышает 3 м.

Ранее [2] мы отмечали, что, например, в подзоне южной тайги Западной Сибири эмиссия CO₂ в олиготрофных биогеоценозах сосново-кустарничково-сфагнового типа достигала значений 84,4 мгС/м²*ч, в мезотрофных биогеоценозах осоково-сфагнового типа — 86,7, сфагново-осокового типа — 22,8, в эвтрофных биогеоценозах лесного типа — 127,8 мгС/м²*ч. Эмиссия метана в олиготрофных сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах составляла 0,04—0,91 мгС/м²*ч, мезотрофных крупнобугристых — 0,01—0,45, сограх — 0,01—0,91 мгС/м²*ч. Причем, интенсивность выделения метана на этих же болотах в 33—150 раз меньше интенсивности выделения CO₂. При этих значениях эмиссии парниковых газов общий углеродный баланс, например, олиготрофного болота имеет следующий вид (таб.2).

Таблица 2 — Углеродный баланс болот стационара Васюганье

БГЦ	Поступление углерода, гС/м ² в год	Выделение углерода, гС/м ² в год	Депонирование углерода, гС/м ² в год
Сосново-кустарничково-сфагновый с высокой сосной	267,3	97,6	169,7
Сосново-кустарничково-сфагновый с низкой сосной	235,2	66,9	168,3
Осоковая топь	158,0	65,2	92,8
Среднее для БГЦ	220,0	76,6	143,6

Существенное значение в балансе углерода имеет статья расхода, определяющая вынос углерода со стоком болотных вод. Согласно нашим результатам, вынос органического углерода составил $6,9 \text{ г м}^{-2}\text{г}^{-1}$. И, таким образом, согласно полученным результатам, процесс заболачивания прогрессирует. Полученные выше параметры по эмиссии CO_2 и CH_4 за последние годы также свидетельствуют о преобладании процесса аккумуляции углерода в торфяной залежи и прогрессирующем торфообразовательном процессе.

Следует отметить, в последние десятилетия отмечается четкая тенденция усиления трансгрессии болот на леса и на северо-западе России. Так, их наступление на окружающие суходолы, составляет 30—50 см/год, а вертикальный прирост торфа равен в среднем 3 мм/год [7].

И как считают исследователи [3] совершенно очевидно, что современное заболачивание в большой степени обусловлено разрушением созданных ранее лесоосушительных систем. В России с 1775 по 1991 годы было осушено 4,96 млн. га, причем с 1925 по 1991 годы (без Прибалтики, Беларуси и Украины) лесоосушительные системы были построены на площади более 4 млн. га. В 1991 г. гидролесомелиоративные работы, как известно, резко сократились. Есть основания полагать, что к настоящему времени вторичному заболачиванию подверглось не менее 1 млн. га [6].

Учитывая наличие обширных исследований на территории Сибири, была сформирована база данных (БД) по эмиссии парниковых газов из болот по собственным и литературным источникам (БД № 2010620411). Модель БД достаточно проста, так как практически основывается на единственном основном понятии — отношении. В тоже время, эта модель является полностью формализованной. В рамках этой модели поддерживаются различные средства манипулирования данными, в том числе абстрактная реляционная алгебра, а также более удобные и распространенные языки QBE и SQL (Structured Query Language — язык структурированных запросов). В нашем случае, в качестве базовой СУБД выбрана *mySQL*. В настоящее время БД частично наполнена информацией. На основании БД по эмиссии парниковых газов была проведена статистическая обработка всей выборки (таб. 3).

Таблица 3 — Статистические параметры по БД «Эмиссия парниковых газов»

Статистические характеристики	Верховые болота	Низинные болота
-------------------------------	-----------------	-----------------

ки	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
Среднее	94,37	3,99	122,44	1,39
Минимальное	4,6	-4,73	14,4	-0,11
Максимальное	403	41,1	478,9	5,65
Стандартное отклонение	72,17	7,19	114,18	1,57
Средняя квадратическая ошибка	9,73	0,64	24,92	0,29
Число наблюдений	155	126	121	128

В последующем, выборка была ранжирована по следующим интервалам: для CH₄ — 40—8, 8—3, менее 3 мг С/м²/ч; для CO₂ — 400—200, 200—100, менее 100 мг С/м²/ч. На основе проведенных расчетов была разработана схема районирования территории Западной Сибири по эмиссии парниковых газов (рис. 2). Основой для районирования послужила контурная карта Западной Сибири масштаба М 1:15000 и болотное районирование [8].

Левая половина диаграммы представляет эмиссию CH₄,%, а правая половина — эмиссию CO₂, %. Болотная область: III — западносибирская таежная бореально-атлантических выпуклых олиготрофных моховых болот активного заболачивания и интенсивного торфонакопления. Болотные провинции: III₁ — северотаежная западносибирских олиготрофных озерково-грядовых и сосново-кустарничково-сфагново-кладиновых болот; III₂ — среднетаежная западносибирских олиготрофных грядово-мочажинных и сосново-кустарничково-сфагновых болот; III₃ — южнетаежная западносибирских олиготрофных сосново-кустарничково-сфагновых и грядово-мочажинных, мезотрофных и эвтрофных сосново-березово-осоково-гипновых (или сфагновых) и осоково-гипновых (или сфагновых) болот; III₄ — подтаежная западносибирских атлантических эвтрофных осоково-гипновых болот.

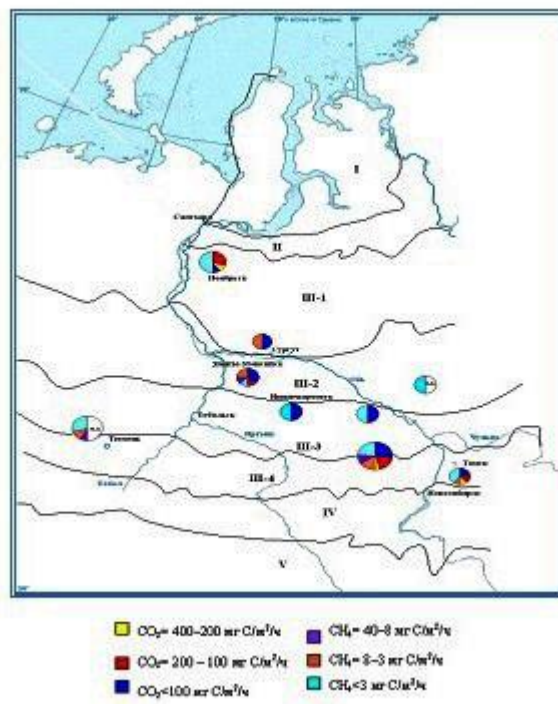


Рисунок 2 — Районирование территории Западной Сибири по эмиссии парниковых газов

В зонах болотного районирования Ш-1 — Ш-4 средняя эмиссия метана чаще измеряется величиной менее 3 мг С/м²/ч. Вместе с тем в пределах зон Ш-2 и Ш-3 показатели эмиссии метана могут иметь значения 3—8 мг С/м²/ч и значительно реже — более 8 мг С/м²/ч, достигая изредка 40 мг С/м²/ч. Средняя эмиссия СО₂ в пределах 400—200 мг С/м²/ч отмечается только в зонах Ш-1, Ш-3 и Ш-4. Преобладающие значения эмиссии СО₂ по всем болотным провинциям составляют 200—100 мг С/м²/ч. В южной части болотной провинции Ш-1 (район г. Сургута), а также в северной части провинции Ш-3 преобладают значения СО₂ — менее 100 мг С/м²/ч.

Выводы

Реализация концепции устойчивого развития возможна только в случае объединения всех стран и народов вокруг вполне определенных идей, выработки новой системы моральных и материальных ценностей. В этом сохранении единства и взаимопонимания между человеком и биосферой особая роль принадлежит болотным экосистемам, в особенности, на территориях высокой заболоченности.

Эмиссия парниковых газов не зависит от генезиса болот и имеет широкие интервалы значений. Пределы изменения диоксида углерода -22,2 до 129,2 мг/м²*ч и можно констатировать, что с сезоном вегетационного периода скорость выделения диоксида углерода не коррелирует. Весной отмечается активность его выделения, иногда – его поглощение. Пределы параметров динамики метана — от -9,1 до 33,9 мг/м²*ч. Наиболее активен процесс эмиссии метана весной и не зависит от мощности торфяной залежи.

Полученные параметры по эмиссии CO₂ и CH₄ также свидетельствуют о преобладании в современный период процесса аккумуляции углерода в торфяной залежи и прогрессирующем торфообразовательном процессе.

На основе проведенных собственных исследований и литературных источников составлена БД эмиссии парниковых газов и разработана схема районирования территории Западной Сибири по их эмиссии.

Исследования поддержаны грантам РФФИ (12-04-31716) и государственным заданием Минобрнауки (5.1161.2011).

Список литературы

1. Инишева, Л. И., Виноградов, В. Ю., Голубина, О. А., Ларина, Г. В. и др. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 118 с.
2. Инишева, Л. И., Головацкая, Е. А. Элементы углеродного баланса олиготрофных болот // Экология. – № 4. – 2002. – С. 261—266.
3. Инишева, Л. И., Кобак, К. И., Турчинович, И. Е. Развитие процесса заболачивания и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России // География и природные ресурсы. – Т. 34. – №3. – 2013. – С. 60—68.
4. Кобак, К. И. Биотические компоненты глобального углеродного цикла. – СПб :Гидрометеиздат, 1988. – 246 с.
5. Коптюг, В. А Конференция ООН по окружающей среде и развитию - подготовительный процесс и итоги (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 г.). – Новосибирск : СО РАН, 1992. – С. 5—23.
6. Константинов, В. К. Гидролесомелиоративная энциклопедия. – СПб :Гидрометеиздат, 2000. – 275 с.

7. Кузьмин, Г. Ф. Болота и их использование // Сборник научных трудов НИИ торфяной промышленности. – СПб : 1993. – 140 с.
8. Лисс, О. Л., Абрамова, Л. И., Аветов, Н. А., Березина, Н. В. и др. Болотные системы их природоохранное значение. – Тула : Гриф и К°, 2001. – 584 с.
9. Медоуз, Д., Рандерс, Й., Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя. Пер. сангл.-М. :ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.
10. Mahmood, M. S., Strack, M. Methane dynamics of recolonized cutover minerotrophic peatland: Implications for restoration // Ecological Engineering. 2011.37. –P. 1859 – 1868.