

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Новосибирский государственный аграрный университет
Общество почвоведов имени В.В. Докучаева

ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ

**Сборник материалов Всероссийской научной конференции
с международным участием, посвященной 50-летию
Института почвоведения и агрохимии СО РАН**

10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск

ЧАСТЬ II

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2018

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОЧВ КАК ИНДИКАТОР ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКОСИСТЕМ

С.Г. Копысов^{1,2}, Н.А. Пеньков²

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, wosypok@mail.ru

Аннотация. Для юга таежной зоны обосновывается подбор локальных эмпирических зависимостей между измеренной температурой на различных глубинах и увлажненностью деятельного слоя в целом, смоделированной с помощью метода гидролого-климатических расчётов (ГКР). В качестве материалов для исследования использовались ежесуточные данные по температурам воздуха и осадкам, а также температуры почвы с автоматических измерителей профиля температуры. Результаты расчётов и измерений усреднялись за декады, после чего проводился подбор эмпирических зависимостей между влажностью и температурами на различных глубинах.

Ключевые слова: термический режим, метод ГКР, логгеры, Южная тайга.

Актуальность. Исследованию изменений температуры верхних и глубинных слоев почвы в период современного потепления климата посвящено большое число работ [1]. Тепловой режим почв является важнейшей составной частью почвенного климата. Именно тепловой режим, наряду с водным, определяет емкость и интенсивность процессов почвообразования [2], и в целом биопродуктивность различных геосистем. Восстановление температуры почвы лишь по температуре воздуха не всегда эффективно, так как выпадение дождевых осадков также существенно влияет на температурный режим деятельной поверхности.

В практике климатических моделей и прогнозов атмосферные осадки и температуру воздуха обычно рассматривают по отдельности. В действительности эти параметры являются лишь некоторыми индикаторами разнонаправленных экосистемных процессов действующих совместно. Часто в исследованиях используется коэффициент увлажнения, который представляет собой отношение количества атмосферных осадков к величине испаряемости и вычисляется, по предложению Н.Н. Иванова, ежемесячно и за год. Однако, у этого коэффициента есть существенный недостаток – он не учитывает начальное увлажнение деятельного слоя. Эти недостатки отсутствуют в математических моделях тепловлагообмена между деятельным слоем почвогрунта и атмосферой, например в методе гидролого-климатических расчетов или методе ГКР [3, 4].

Объекты и методы исследования. Основная идея метода ГКР заключается в том, что водный и тепловой балансы рассматриваются совместно в их неразрывной связи и, что самое главное во взаимосвязи с почвенным покровом, с учетом его водных и физических свойств. Математический алгоритм метода ГКР учитывает при расчетах гидролого-климатических характеристик перераспределение влаги внутри года и переход части влаги с одного года на другой. Одним из результатов выдаваемых данной моделью являются ряды относительной увлажненности деятельного слоя.

В качестве исходной информации для реализации метода ГКР использовались суточные данные по осадкам и температурам воздуха для метеостанций Бакчар и Томск, взятые из базы данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных ВНИГМИ-МЦЦ (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>).

Измерения температуры почвы на различных глубинах выполнялись автономными измерителями температуры разработанными в ИМКЭС СО РАН [5], расположенными в автоморфных условиях в радиусе 13–130 км от ГМС Томск. В анализе использовались данные только за вегетационный период, начиная с 2012 года. Расчетный интервал времени – декада, так как летние осадки выпадают локально-распределено, а потому моделирование по суточным осадками ГМС Томск и Бакчар лишь создаст информационный шум.

Обсуждение результатов. Годовой ход температуры почвы в умеренных широтах характеризуется обычно одним максимумом в июле или августе и одним минимумом в январе или феврале. Ниже показано, как изменяются годовые амплитуды температур.

Годовые амплитуды температуры почвы на различных глубинах

| АИПТ Ипатово (кедровник) | | АИПТ Зоркальцево (опушка колка) | | АИПТ Маркелово (осинник высокотравный) | |
|--------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|-----------|
| Глубина | Амплитуда | Глубина | Амплитуда | Глубина | Амплитуда |
| 0 | 20,1 | 0 | 21,3 | 0 | 23,3 |
| 10 | 18,9 | 10 | 19 | 10 | 16,8 |
| 40 | 15,2 | 40 | 14,4 | 40 | 13,5 |
| 80 | 12,7 | 80 | 11,9 | 80 | 10,8 |
| 160 | 8,3 | 160 | 8,7 | 160 | 7,4 |

Большое значение на амплитуду среднегодовой температуры почвы оказывает снежный покров. Зимой он уменьшает охлаждение почвы и тем самым в значительной мере повышает ее среднегодовую температуру.

Если говорить о роли влажности почвы на ее температуру, то понятно, что чем почва более влажная, тем больше тратится энергии на испарение, а не на её нагрев, и наоборот. Для подтверждения этой гипотезы был проведен корреляционный анализ между модельной увлажненностью деятельного слоя и измеренными температурами в почвогрунте.

Корреляция температуры почв на различных глубинах с модельной увлажненностью почвы

| Глубина, см | АИПТ Сухарево | АИПТ Ипатово | АИПТ Зоркальцево (центр западины) | АИПТ Зоркальце- во (опушка колка) | АИПТ Маяк | АИПТ Маркелово | АИПТ Яря |
|----------------|------------------|-----------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| 0 | -0,75 | -0,80 | -0,69 | -0,48 | 0,03 | -0,43 | -0,68 |
| 5 | -0,76 | -0,79 | -0,86 | -0,63 | -0,63 | -0,62 | -0,82 |
| 10 | -0,79 | -0,82 | 0,73 | -0,70 | -0,68 | -0,68 | -0,96 |
| 15 | -0,81 | -0,84 | 0,87 | -0,78 | -0,72 | -0,73 | -0,99 |
| 20 | -0,83 | -0,86 | -0,80 | -0,83 | -0,76 | -0,76 | -0,95 |
| 30 | -0,83 | -0,87 | 0,90 | -0,90 | -0,84 | -0,80 | -0,97 |
| 40 | -0,84 | -0,88 | -0,68 | -0,93 | -0,86 | -0,83 | -0,97 |
| 60 | -0,84 | -0,88 | -0,71 | -0,95 | -0,87 | -0,85 | -0,87 |
| 80 | -0,83 | -0,87 | -0,09 | -0,95 | -0,86 | -0,85 | -0,92 |
| 120 | -0,81 | -0,85 | 0,29 | -0,93 | -0,86 | -0,83 | -0,99 |
| 160 | -0,79 | -0,83 | -0,13 | -0,91 | -0,85 | -0,80 | -0,92 |
| 240 | -0,73 | -0,79 | -0,87 | -0,87 | -0,84 | -0,76 | -0,88 |

Результаты корреляционного анализа также показали, что в летний период измеренная температура почвы находится в обратной зависимости от модельной декадной увлажненности деятельного слоя. Причем наибольшие отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются на различных глубинах и характеризуют мощность деятельного слоя. Это позволяет утверждать, что ряды наблюдений за термическим режимом дают нам возможность восстанавливать локальную относительную увлажненность деятельного слоя за вегетационный период и тем самым количественно оценивать экологические условия произрастания.

Стоит отметить, что в летний период зависимости между измеренной температурой почвы на различных глубинах и осадками, зарегистрированными на ГМС Томск, не наблюдается.

Что касается корреляции температур почв на различных глубинах с температурой воздуха по ГМС Томск, то здесь наибольшее соответствие наблюдается на поверхности деятельного слоя, а с глубиной происходит закономерное уменьшение коэффициентов корреляции (с $r=0,87-0,90$ на глубине 5 см до $0,68-0,74$ на глубине 80 см). Ниже деятельного слоя зависимость между температурой воздуха и температурой почвы не значима, это позволяет нам четко определять нижнюю границу деятельного слоя.

В статье [6] для уточнения глубины проникновения внутрисуточного хода температур и отставания по фазе на торфяных болотах рассчитывались взаимные автокорреляционные

функции температуры воздуха и слоев торфяной залежи. Для болот начиная с глубин 30 см и более, влияние внутрисуточного хода температур воздуха не прослеживается.

Т а б л и ц а 3

Корреляция температуры почв на различных глубинах с осадками по ГМС Томск

| Глубина, см | АИПТ Суарево | АИПТ Ипатово | АИПТ Зоркальцево (центр западины) | АИПТ Зоркальцево (опушка колка) | АИПТ Маяк |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------|
| 0 | 0,07 | 0,21 | 0,10 | 0,17 | 0,45 |
| 5 | 0,24 | 0,21 | 0,09 | 0,19 | 0,49 |
| 10 | 0,24 | 0,21 | -0,03 | 0,20 | 0,49 |
| 15 | 0,24 | 0,22 | 0,03 | 0,21 | 0,50 |
| 20 | 0,24 | 0,22 | 0,11 | 0,22 | 0,51 |
| 30 | 0,24 | 0,22 | 0,13 | 0,23 | 0,53 |
| 40 | 0,24 | 0,22 | 0,16 | 0,24 | 0,54 |
| 60 | 0,23 | 0,22 | 0,16 | 0,25 | 0,54 |
| 80 | 0,21 | 0,22 | 0,17 | 0,25 | 0,55 |
| 120 | 0,19 | 0,22 | 0,14 | 0,25 | 0,54 |
| 160 | 0,15 | 0,20 | 0,10 | 0,24 | 0,53 |
| 240 | 0,23 | 0,15 | 0,02 | 0,19 | 0,46 |

Т а б л и ц а 4

Корреляция температуры почв на различных глубинах с температурой воздуха по ГМС Томск

| Глубина, см | АИПТ Суарево | АИПТ Ипатово | АИПТ Зоркальцево (центр западины) | АИПТ Зоркальцево (опушка колка) | АИПТ Маяк |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|
| 0 | 0,09 | 0,88 | 0,92 | 0,91 | 1,00 |
| 5 | 0,88 | 0,88 | 0,84 | 0,91 | 0,88 |
| 10 | 0,87 | 0,87 | 0,52 | 0,90 | 0,87 |
| 15 | 0,85 | 0,85 | 0,46 | 0,90 | 0,86 |
| 20 | 0,83 | 0,84 | 0,84 | 0,89 | 0,85 |
| 30 | 0,80 | 0,81 | 0,27 | 0,87 | 0,82 |
| 40 | 0,77 | 0,78 | 0,78 | 0,85 | 0,78 |
| 60 | 0,72 | 0,74 | 0,72 | 0,82 | 0,74 |
| 80 | 0,68 | 0,70 | 0,64 | 0,78 | 0,69 |
| 120 | 0,57 | 0,60 | 0,44 | 0,69 | 0,64 |
| 160 | 0,44 | 0,47 | 0,14 | 0,58 | 0,53 |
| 240 | 0,90 | 0,13 | -0,26 | 0,29 | 0,26 |

По нашим данным для автоморфных условий местообитания запаздывание декадного хода температуры воздуха на глубине 20 см не превышает одной-двух декад, на глубине 120 см – 4–5 декад, а на глубине 240 см – 7–8 декад.

Как известно [7], температура почвы является результатом не только прогревания воздуха над ее поверхностью, но и влажности почвы, характеристик ее поверхности (прежде всего ее цвета, от которого зависит альбедо), гранулометрического состава. Поэтому соотношения температур почва-воздух является неустойчивым, существенно зависящим от климатической зоны, от континентальности климата, указанных особенностей почв и многих других факторов. Поэтому регрессионный метод прогнозирования температуры почвы лишь по температуре воздуха дает лишь ориентировочные прогнозы.

Для более точного прогнозирования, нами были подобраны зависимости ряда модельной увлажнённости деятельного слоя с температурами почв на глубинах 20, 40 и 80 см за 2014–2016 годы. Также по расчётному ряду увлажнённости деятельного слоя на основе регрессионной модели был восстановлен термический режим почв для различных лесорастительных условий.

Зависимость термического режима и относительной влажности деятельного слоя лучше всего работает в летний период, когда прекращается влияние снежного покрова. Наибольшие ошибки (до 17%) наблюдаются в первую декаду июня 2014 года. Возможно, это обусловлено особенностями температурного и снегового режима предшествующего периода: за зиму почва промёрзла на большую глубину.

Заключение. Установление локальных эмпирических зависимостей между измеренной температурой деятельного слоя на различных глубинах и его увлажненностью, смоделированной с помощью метода гидролого-климатических расчётов даёт нам возможность по рядам наблюдений за термическим режимом восстанавливать локальную относительную увлажненность деятельного слоя за вегетационный период и тем самым количественно оценивать локальные экологические условия произрастания.

Простота и относительная дешевизна автоматического мониторинга температурного режима, особенно по сравнению со стационарными наблюдениями за влажностью деятельного слоя, даёт надежный и эффективный способ для индикации режимов увлажнения различных геосистем.

Работа выполнена при поддержке комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования на 2018–2020 гг.» проект «Взаимосвязь климатических и экосистемных процессов на территории лесоболотных комплексов Западной Сибири».

Литература

1. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А. Особенности температурного режима торфяной залежи олиготрофного болота в Южной Тайге Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 65–71.
2. Хмелев В.А., Панфилов В.П., Дюкарев А.Г. Генезис и физические свойства текстурно-дифференцированных почв. Новосибирск: Наука, 1988. 128 с.
3. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеодиздат, 1973. 168 с.
4. Карнацевич И.В., Хрущев С.А. Компьютерная система массовых расчетов текущих водных балансов речных водосборов неизученных областей суши. Омск, 2014. 174 с.
5. Кураков С.А., Крутиков В.А., Ушаков В.Г. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 5. С. 166–167.
6. Инишева Л.И., Горельский В.А., Инишев Н.Г. Гидротермический режим торфяных болот // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 1. С. 22–26.
7. Шейн Е.В. Агрофизика. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 400 с.

THERMAL SOIL MODE AS THE INDICATOR OF THE HYDROLOGICAL-CLIMATE FEATURES OF ECOSYSTEMS

S.G. Kopysov^{1,2}, N.A. Pen'kov²

¹ Institute of Monitoring and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, wosypok@mail.ru

² National Research Tomsk State University, Tomsk, wosypok@mail.ru

Summary. For the south of the taiga zone, a selection of local empirical relationships between the measured temperature at various depths and the moisture content of the active layer of the soil, modeled by the method of hydrologic-climatic calculations (GCR), is justified. Daily data on air temperatures and precipitation, as well as soil temperatures from automatic temperature profile meters were used as the materials for the study. The results of calculations and measurements were averaged over 10 days, after which the selection of empirical relationships between humidity and temperatures at different depths was carried out.

Keywords: thermal regime, method HCC, logger, South Taiga.