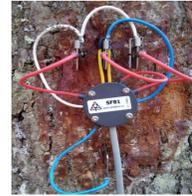


Измерение стволового сокодвижения в рамках гидрологического мониторинга речного бассейна в южном Приморье

Научная проблема, задачи, методы

- По самым общим оценкам [Клиге, Данилов, Конищев, 1998; Miralles et al., 2011; Jasechko et al., 2013] в глобальном масштабе поток водяного пара в атмосферу с поверхности суши превосходит дренируемый сток в океан почти в два раза, хотя относительная доля этих потоков варьируется в различных климатических зонах и биомах. Очевидна необходимость развития методов оценки бассейнового испарения на основе измерений характеристик потока влаги в ксилеме (*sap flow*) в стволах деревьев.
- Цель:** оптимальная структура статистической модели транспирации, которая могла бы представлять основу методики оценки объемов транспирации с водосбора, а также блока испарения в составе гидрологических моделей.
- Задачи:**
 - Отработка методов измерений стволового сокодвижения с использованием sap flow-датчиков на водосборе;
 - Анализ основных факторов процесса транспорта влаги в стволах деревьев;
 - Адаптация модели множественной линейной регрессии (МЛР) для воспроизведения индивидуальных серий ксилемного расхода по метеорологическим данным.

Мониторинговая сеть водосбора руч. Березовый



- Водосбор:** руч. Березовый, верховье р. Уссури
- Расположение:** Верхнеуссурийский лесной стационар БПИ ДВО РАН.
- Ландшафт:** южная дальневосточная тайга
- Климат:** муссонный
- Объекты:** четыре экземпляра пихты белокорой.
- Характеристики дерева**
№ – высота, м – обхват, см: № 400 – 20 – 38.4; № 105 – 20 – 66.1; № 205 – 17 – 72; № 109 – 17 – 71.

Sapflow датчик EMS-81, установленный в стволе

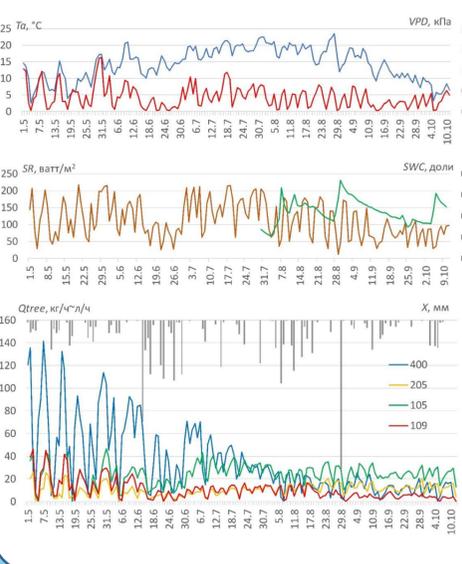
Внешний вид изм. системы

Элементы энергосистемы

Серии суточного и часового разрешения:

- Расход ксилемного потока (Q_{tree} , л/час), обхват дерева (G , см);
- Осадки (X , мм), температура (T_a , °C); влажность (H , %); скорость ветра (vW , м/с), солнечная радиация (SR , ватт/км²); объемная влажность почвы (SWC , в долях);
- Температура почвы (ST_{15} , °C)
- Расходы воды в замыкающем створе (Q , л/с)
- Дефицит насыщения водяного пара (VPD , кПа)

Суточная динамика ксилемных расходов Q_{tree}

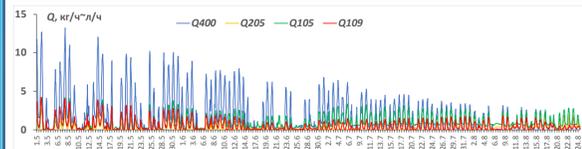


Сезонный ход Q_{tree} отличался высокой вариабельностью и явно обусловлен метеорологическими условиями, но не абсолютно синхронен для всех деревьев. Абсолютные значения Q_{tree} у разных деревьев существенно различались, а разность суточных значений достигала 3–5 раз, особенно это заметно в мае–июне. Взрослое дерево 400 с наибольшим обхватом ствола транспортировало объем суммарной влаги 5620 л за сезон., что превышал таковой для молодого дерева 109 в 3.3 раза. В июне заметный спад сокодвижения одновременно с трендом снижения VPD, что обусловлено продолжительной дождливой погодой.

Статистическая связь с параметрами:

№ дерева	Пары	R^2
400 и 109	Q_{tree} / H	0.69 и 0.66
105	Q_{tree} / VPD и Q_{tree} / SR	0.62 и 0.50
205	Q_{tree} / H и Q_{tree} / VPD	0.33 и 0.35

Часовая динамика Q_{tree}

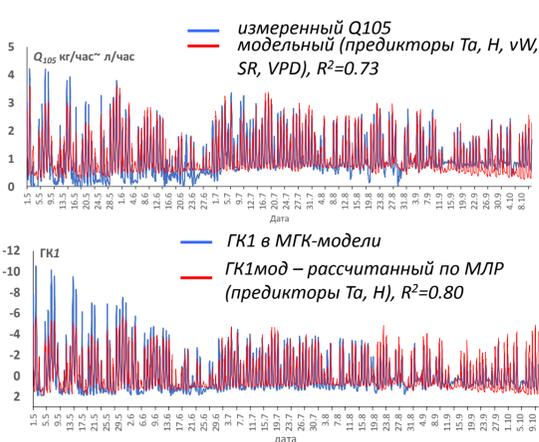


При анализе часового хода Q_{tree} выявляются: устойчивый суточный цикл, выраженная синхронность между разными стволами, а также более тесные связи между Q_{tree} и метеохарактеристиками.

Метод главных компонент Q_{tree} ($I \times J$), где I – число измерений за период, J – кол-во деревьев. ГК1 – первая главная компонента. Дисперсия ГК1 – 84%.

ГК1, получаемая в результате декомпозиции матрицы Q_{tree} методом МГК, представляет модельную динамику Q_{tree} . ГК1 воспроизводит суточную цикличность и сезонную тенденцию снижения амплитуд. В перспективе ГК1 может представлять собой интегральную модель динамики сокодвижения исследуемого вида деревьев.

МЛР модель часовых Q_{tree} для полного периода



Предиктант Q_{tree} , наборы предикторов: $H, vW, SR; + G$
 $T_a, H, vW, SR, VPD; + G$
Все варианты моделей с различными наборами предикторов по всему периоду демонстрируют в целом хорошую способность описывать суточный цикл, но явно недооценивают суточные экстремумы, особенно в начале и в конце вегетационного периода. (Пример на рис. сверху).

Предикторы – оценка R^2 :
 $H - 0.77; T_a, H - 0.80; H, SR - 0.80; H, VPD - 0.79; H, vW - 0.77; T_a, H, GK1_G - 0.80$.
Оптимальная структура модели транспирационного потока включает два предиктора – **влажность и температуру воздуха**.

МЛР модель часовых Q_{tree} по месяцам

Месяц	Предикторы	R^2			
		400	205	105	109
V	T_a, H	0.84	0.81	0.84	0.78
	T_a, H, vW, SR, VPD	0.87	0.85	0.88	0.84
VI	T_a, H	0.86	0.81	0.80	0.82
	T_a, H, vW, SR, VPD	0.86	0.83	0.80	0.82
VII	T_a, H	0.79	0.84	0.88	0.86
	T_a, H, vW, SR, VPD	0.82	0.86	0.89	0.88
VIII	T_a, H	0.75	0.80	0.84	0.51
	T_a, H, vW, SR, VPD, WSC	0.77	0.82	0.84	0.59
IX-X	T_a, H	0.78	0.79	0.80	0.26
	T_a, H, vW, SR, VPD, WSC	0.79	0.80	0.84	0.43

Оптимальная величина временного сдвига измерений метеорологических характеристик обусловленная инерционностью процесса составляет: для H и T_a , а также $VPD - 1$ час вперед, для $SR - 2$ часа вперед.

Оценки качества прогноза Q_{tree} по МЛР (предикторы T_a, H)

cal – калибровочная выборка; *test* – проверочная; *r* – коэффициент корреляции; *NS* – коэффициент Нэша-Сатклиффа
* в числителе – длина калибровочной выборки, в знаменателе – проверочной.

Дерево	Выборка	V-X		V		VI		VII		VIII		IX-X	
		888/3021*		144/582		168/552		144/600		168/624		144/576	
		<i>r</i>	<i>NS</i>	<i>r</i>	<i>NS</i>	<i>r</i>	<i>NS</i>	<i>r</i>	<i>NS</i>	<i>r</i>	<i>NS</i>	<i>r</i>	<i>NS</i>
400	<i>cal</i>	0.83	0.69	0.92	0.84	0.92	0.85	0.90	0.81	0.89	0.79	0.87	0.79
	<i>test</i>	0.79	0.62	0.92	0.85	0.92	0.84	0.89	0.81	0.85	0.67	0.88	0.76
205	<i>cal</i>	0.87	0.75	0.92	0.82	0.90	0.82	0.94	0.99	0.90	0.80	0.93	0.86
	<i>test</i>	0.84	0.70	0.90	0.81	0.89	0.76	0.91	0.84	0.89	0.80	0.88	0.76
105	<i>cal</i>	0.91	0.82	0.93	0.87	0.90	0.82	0.95	0.93	0.92	0.85	0.91	0.82
	<i>test</i>	0.88	0.85	0.92	0.84	0.87	0.73	0.94	0.87	0.91	0.83	0.89	0.76
109	<i>cal</i>	0.79	0.63	0.88	0.77	0.91	0.82	0.94	0.86	0.79	0.88	0.57	0.33
	<i>test</i>	0.75	0.55	0.89	0.78	0.89	0.81	0.92	0.97	0.69	0.38	0.50	0.18

Качество модели по *test*-выборке для деревьев 205 и 105 высокое, *r* в диапазоне – 0.8–0.9, значение коэффициента *NS* – в диапазоне 0.70–0.89. Для дерева 400 качество аппроксимации как для отдельных месяцев, так и для всего периода хорошее. Для дерева 109 надежную модель для VIII и IX-X получить не удалось, в остальные месяцы качество моделей сопоставимо с другими деревьями.

Заключение

- Оценены объемы транспортируемого потока влаги в экземплярах пихты за вегетационный период 2020. В зависимости от диаметра дерева составили от 1720 до 5620 л, а среднесуточные скорости сокодвижения в ксилеме – от 0.3 до 1.0 см/час.
- Установлена оптимальная структура эмпирической модели, которая включает два предиктора – температуру и влажность воздуха.
- По калибровочным выборкам для каждого дерева были установлены эмпирические коэффициенты регрессионных прогностических уравнений.
- Результаты проверки на тестируемых выборках показали, что для периода с V по X модельные серии значений Q_{tree} для трех экспериментальных деревьев достаточно близки к измеренным: $r=0.79-0.88, NS=0.62-0.85$. Качество моделирования существенно улучшается в случае использования выборок по отдельным месяцам.