

*Р.В. Горбунов¹, канд. геогр. наук, зам. директора, А.В. Зуев¹, инженер,
В.О. Смирнов², канд. геогр. наук*

ВОДНОБАЛАНСОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КАРАДАГСКОГО ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА

Проанализированы эмпирические данные воднобалансовых исследований, на территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара. Установлено, что на территорию стационара выпадает в среднем 488,9 мм осадков в год, задержание осадков кронами деревьев составляет в среднем 32,4%. В годовом ходе осадков выявлены осенне-зимний максимум и весенне-летний минимум. В результате анализа влажности почвы в различных растительных ассоциациях выявлен её рост за рассматриваемый период в рассматриваемых сообществах. Наблюдается выраженный годовой ход влажности почвы, который зависит от положения группы сообществ в гидрологическом ряду. С целью анализа процессов формирования поверхностного стока проведено имитационное моделирование. На основе эмпирических данных построена АВС-модель поверхностного стока со склонов. Показано, что поверхностный сток – сложный процесс, зависящий от многих факторов. Произведён количественный анализ водного баланса территории стационара.

Ключевые слова: водный баланс, Карадагский ландшафтно-экологический стационар, осадки, влагозапас, влажность почвы, поверхностный сток, испарение.

Воднобалансовые исследования на территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара (КЛЭС) производятся с момента его основания в 1993 г. (Ландшафтно-экологический... 1999). К настоящему времени они включают комплекс наблюдений за следующими параметрами:

- количество осадков на открытом участке и под пологом леса;
- влагозапас в почве на открытом участке и под пологом леса;
- влажность почвы в различных растительных сообществах;
- поверхностный сток.

Результаты воднобалансовых исследований на территории стационара были использованы рядом авторов в своих публикациях. К таким работам следует отнести публикации А.А. Клюкина, В.А. Бокова, Т.В. Бобры, А.В. Зуева, Р.В. Горбунова. Однако эти работы носили во многом частный характер и касались изменения каких-либо отдельных параметров. Комплексного же исследования водного баланса территории КЛЭС до сих пор не проводилось.

Цель данной работы: проанализировать полученный массив данных и описать водный баланс территории стационара.

Авторами предпринята попытка не только показать структуру водного баланса стационара, но также и проанализировать динамику компонентов водного баланса за период инструментальных измерений.

Анализ эмпирических данных о задержании осадков пологом леса. По данным наблюдений с 2000 по 2012 гг. на территорию КЛЭС ежегодно выпадает в среднем 488,9 мм осадков; максимальное количество осадков зарегистрировано в 2010 г. (714,5 мм), минимальное – в 2000-м (308,3 мм) (рис. 1). На стационаре выпадает до

¹ Государственное бюджетное учреждение науки и охраны природы Республики Крым «Карадагский природный заповедник», г. Феодосия, РФ.

² Научно-образовательный центр ноосферологии и устойчивого ноосферного развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», г. Симферополь, РФ.

12% твердых осадков. Максимальная высота снежного покрова (30 см) наблюдалась в декабре 2001 г. и в середине февраля 2004 г. Дольше всего снег лежал в 2002 г., когда общая продолжительность залегания снежного покрова составила 42 дня.

При этом через лесные кроны проходит в среднем 333,2 мм осадков. Таким образом, лесной полог задерживает в среднем 32,4% (155,7 мм) поступающих осадков в год (табл. 1).

Внутригодовой ход количества осадков (рис. 2) выражен нечётко, что, вероятно, связано с малым рядом анализируемых данных. Однако все же можно выделить осенне-зимний максимум и весенне-летний минимум осадков.

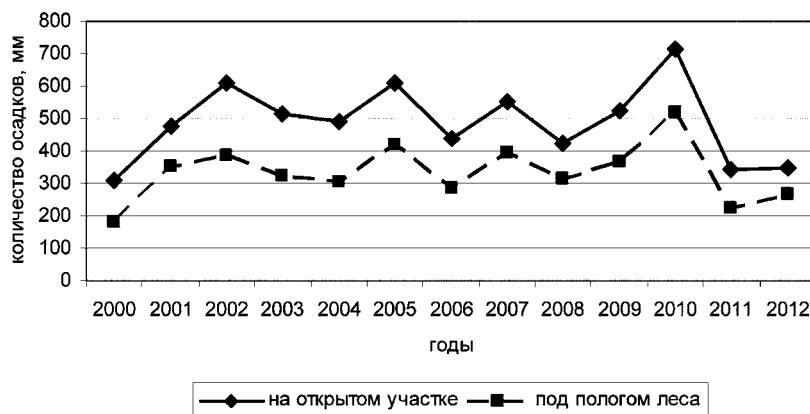


Рис. 1. Ход годовых сумм осадков на территории КЛЭС в 2000 – 2012 гг.

Табл. 1. Задержание осадков лесными кронами на территории КЛЭС в 2000 – 2012 гг.

Годы	Количество осадков, мм		Задержание осадков	
	на открытом участке	под пологом леса	мм	%
2000	308,3	182,5	125,8	40,8
2001	473,9	351,0	122,9	25,9
2002	608,2	387,8	220,4	36,2
2003	515,3	323,0	192,3	37,3
2004	491,2	303,4	187,8	38,2
2005	610,2	419,8	190,4	31,2
2006	437,4	284,8	152,6	39,4
2007	554,0	395,9	158,1	28,5
2008	425,1	312,8	112,3	26,4
2009	524,1	364,3	159,8	30,5
2010	714,5	518,8	195,7	27,4
2011	344,3	221,8	122,5	35,5
2012	349,8	265,9	83,9	24,0
сред.	488,9	333,2	155,7	32,4

Анализ среднееголетних месячных сумм осадков за весь период наблюдений показывает, что в годовом ходе осадков максимум приходится на ноябрь (56,4 мм), а минимальное наблюдается в апреле (28,2 мм). При этом абсолютный максимум осадков был зарегистрирован в августе 2002 г. (173,1 мм), – в июле 2000, августе 2008 и апреле 2009 гг. (0 мм). В кронах наблюдаемого лесного сообщества задерживается от 0 до 100% выпавших осадков.

Годовой ход значений количества влаги под лесным пологом в целом повторяет ход количества осадков (рис. 1). Зимние осадки в виде снега, как прави-

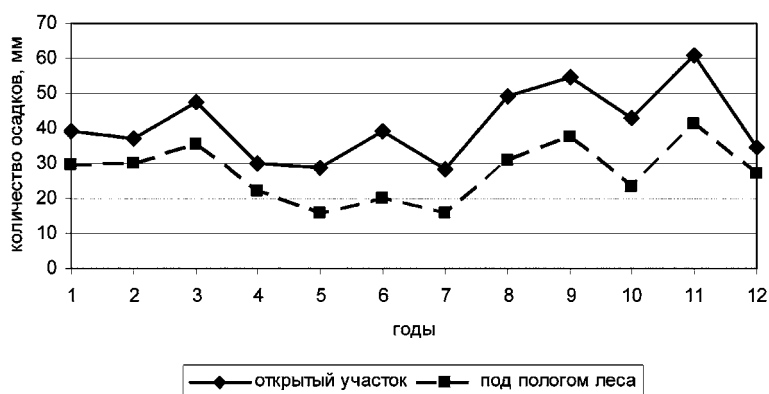


Рис. 2. Внутригодовой ход количества осадков на территории КЛЭС в 2000 – 2012 гг.

ло, почти все проходят сквозь кроны деревьев. Задержание осадков максимально в вегетационный период (табл. 2).

Однако количество проникшей под древесный полог влаги зависит не только от времени года, но и от величины и интенсивности осадков (рис. 3). Часто осадки небольшой величины полностью расходуются на смачивание крон деревьев и испаряются, не достигнув поверхности почвы. Благодаря этому в лесном массиве бездождный период оказывается более продолжительным, чем на открытой местности.

Табл. 2. Внутригодовая изменчивость задержания осадков под кронами леса на территории КЛЭС в 2000 – 2012 гг.

Месяц	Количество осадков, мм		Перехват осадков	
	открытый участок	под пологом лесом	мм	%
1	39,1	29,7	9,4	24,0
2	37,1	30,2	6,9	18,6
3	47,5	35,4	12,1	25,5
4	29,8	22,1	7,7	25,8
5	28,7	15,8	12,9	44,9
6	39,2	20,2	19	48,5
7	28,4	15,9	12,5	44,0
8	49,1	30,7	18,4	37,5
9	54,5	37,3	17,2	31,6
10	42,9	23,3	19,6	45,7
11	60,7	41,2	19,5	32,1
12	34,6	27,2	7,4	21,4

Рис. 3 иллюстрирует наличие четкой обратной зависимости между величиной осадков и их задержанием кронами. Проведенный анализ данных о задержании осадков листьями деревьев показал, что они задерживают от 25 до 40% выпадающих осадков. Таким образом, кроны деревьев вносят существенный вклад в структуру водного баланса, что необходимо учитывать при записи уравнения баланса.

Влажность почвы в различных растительных ассоциациях. Исследование влажности почвы на Карадагском стационаре производится с периодичностью один раз в месяц. Для определения полевой влажности почвы производится отбор проб в 30 точках (рис. 4) с глубины 5–10 см (Зуев, 2001). Для вычисления процента влажности используется метод прямых весовых измерений.

В ходе выполнения исследований проанализированы данные о влажности почвы за период с 1998 по 2012 гг. Все рассматриваемые точки предлагается объединить по группам сообществ (Зуев, 2001):

- Петрофитные степи (точки 4, 6, 21, 22);
- Другие степные сообщества (1, 2, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 25, 27);
- Степные сообщества, граничащие с лесом или лесными куртинами (5, 18, 23);
- Одиночно стоящие деревья (3, 11, 14, 26);
- Лесные сообщества (7, 16, 17, 19, 24, 28, 29, 30, 31).

Анализ данных влажности почвы показал, что такое выделение вполне правомерно, т.к. значения влажности почвы по данным группам ассоциаций варьируют в достаточно близких пределах (табл. 3).

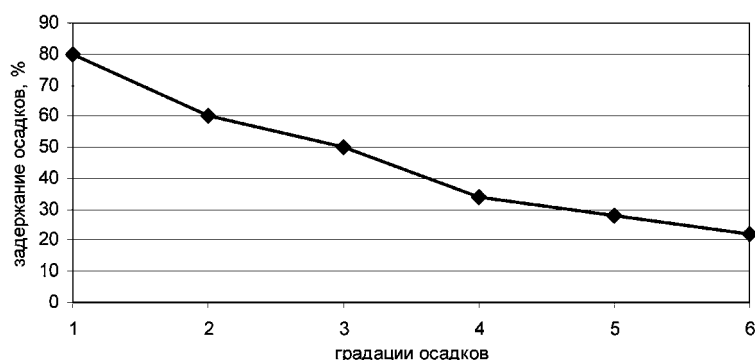


Рис. 3. Процент задержания осадков различной величины на территории КЛЭС в 2000 – 2012 гг. Градации осадков: 1 – 0,1 – 1 мм; 2 – 1,1 – 2,0 мм; 3 – 2,1 – 5,0 мм; 4 – 5,1 – 10,0 мм; 5 – 10,1 – 20,0 мм; 6 – более 20 мм

Табл. 3. Среднегодовое и абсолютные значения влажности почвы по группам сообществ на территории КЛЭС в 1998 – 2012 гг.

	Растительные сообщества	Месяцы												Ср.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
сред.	Петрофитная степь	18,5	18,6	17,2	15,2	11,8	9,7	7,4	6,3	8,8	11,5	13,8	16,2	12,9
	Др. степные сообщества	26,0	26,1	24,9	22,1	17,8	14,6	12,4	11,1	12,9	16,1	19,5	22,8	18,8
	Степ. сообщ., граничащие с лесом	25,9	26,9	25,0	23,1	19,3	16,7	13,9	13,4	14,0	17,0	19,8	22,9	19,8
	Одиночно стоящие деревья	26,4	26,1	26,0	24,0	20,4	17,7	15,6	14,5	15,0	17,3	20,5	23,6	20,6
	Лесные сообщества	33,0	34,4	33,3	31,7	27,6	24,2	21,1	18,5	19,5	21,6	25,8	30,0	26,7
	сред.	25,9	26,4	25,3	23,2	19,4	16,6	14,1	12,8	14,0	16,7	19,9	23,1	19,8
мин	Петрофитная степь	14,9	16,5	14,6	10,4	5,0	5,1	3,7	3,1	4,1	5,9	8,3	8,1	8,9
	Др. степные сообщества	22,6	21,4	20,4	16,5	11,6	9,0	6,7	5,2	6,7	9,9	12,8	11,9	14,9
	Степ. сообщ., граничащие с лесом	19,8	20,5	19,9	16,5	12,8	11,8	8,9	7,7	7,8	11,5	12,4	12,1	16,1
	Одиночно стоящие деревья	20,3	18,2	17,1	14,3	15,6	12,1	11,5	9,8	10,9	11,5	13,1	12,1	16,4
	Лесные сообщества	17,4	19,0	19,8	17,0	9,1	9,3	5,5	5,0	11,8	10,8	8,3	8,4	11,8
	сред.	19,0	19,1	18,4	14,9	10,8	9,4	7,3	6,2	8,2	9,9	11,0	10,5	13,6
макс	Петрофитная степь	28,3	24,8	19,8	18,4	16,2	18,2	14,4	15,2	18,6	20,0	20,6	20,9	15,3
	Др. степные сообщества	32,7	35,9	29,4	26,0	25,9	24,3	23,1	24,0	27,2	26,6	27,4	27,4	21,7
	Степ. сообщ., граничащие с лесом	35,3	43,0	28,1	27,0	26,8	27,8	24,0	23,9	22,8	27,6	25,9	28,2	22,8
	Одиночно стоящие деревья	35,3	34,7	31,2	29,7	28,3	26,5	23,7	23,6	28,7	28,3	29,9	29,8	23,7
	Лесные сообщества	41,7	52,0	38,6	37,0	35,8	35,5	33,1	32,1	35,2	34,6	37,6	39,3	30,5
	сред.	34,7	38,1	29,4	27,6	26,6	26,5	23,7	23,8	26,5	27,4	28,3	29,1	22,8

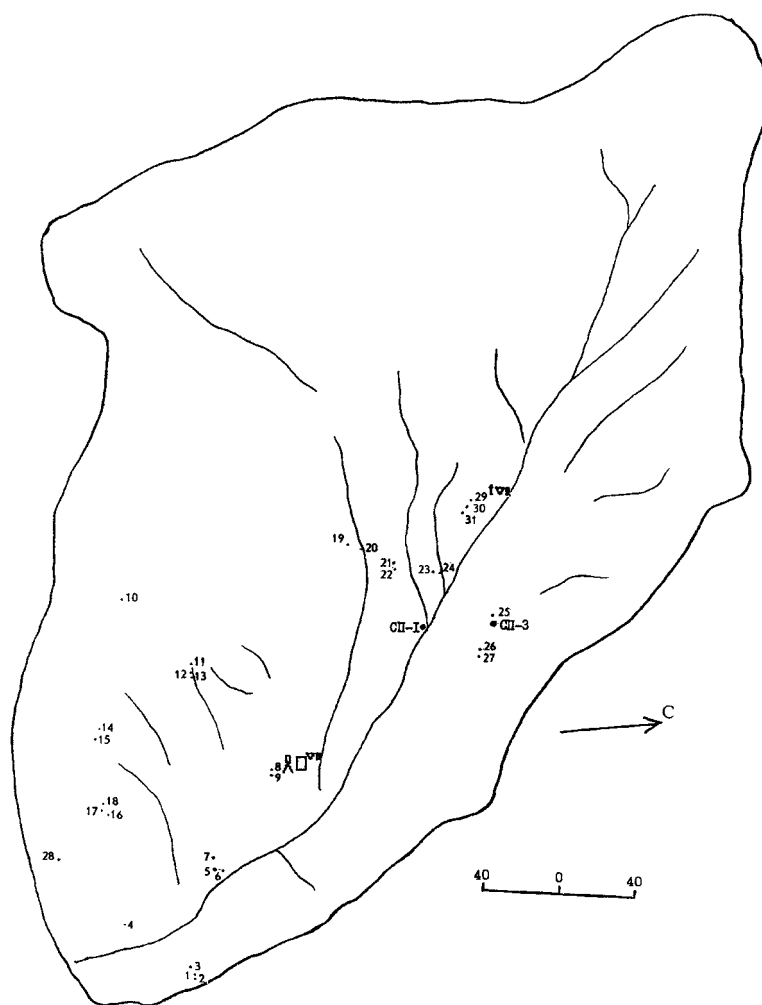


Рис. 4. Сеть режимных воднобалансовых исследований на КЛЭС (1–31 – места взятия проб для определения влажности почвы; $\square$ – психометрическая будка и открытый оголённый от растительности участок; $\bullet$ – стоковые площадки; ∇ – осадкоприёмники и лизиметры)

Данные табл. 3 показывают вполне закономерное распределение влажности почвы по группам сообществ. Так, минимальные значения влажности почвы характерны для петрофитных степных сообществ, а максимальные – для лесных. Следует отметить высокие значения влажности в экотонных зонах между степными и лесными сообществами, что, с одной стороны, определяется воздействием лесного полога, а с другой, способствует формированию условий для распространения леса. Именно в этих зонах наблюдается наибольшее количество жизнеспособного возобновления лесной древесной растительности. Такой же эффект отмечается и для группы степных сообществ с кустарниками. Действительно, если проанализировать карты растительности стационара, составленные Л. Н. Каменских в 1995 и 2005 гг. (Каменских, 2008), можно заметить значительное увеличение площади, покрытой лесными сообществами за счёт вытеснения степных участков.

Анализ динамики изменения влажности почвы по группам сообществ показывает (рис. 5) её постепенное увеличение, причем оно происходит соответственно росту гидрофильности сообществ.

Под петрофитно-степными сообществами роста влажности почвы не наблюдается, а максимальный рост её значений характерен для лесных сообществ (рис. 5). Такое явление может быть объяснено двумя факторами: 1) увеличением количества осадков (исключая последние сухие 2011–2012 гг.); 2) увеличением проективного покрытия крон и, как следствие, увеличением мощности лесной подстилки и снижением испарения с поверхности почвы.

Увеличение количества осадков хорошо просматривается из графика количества осадков с 1920 по 2007 гг. (рис. 6).

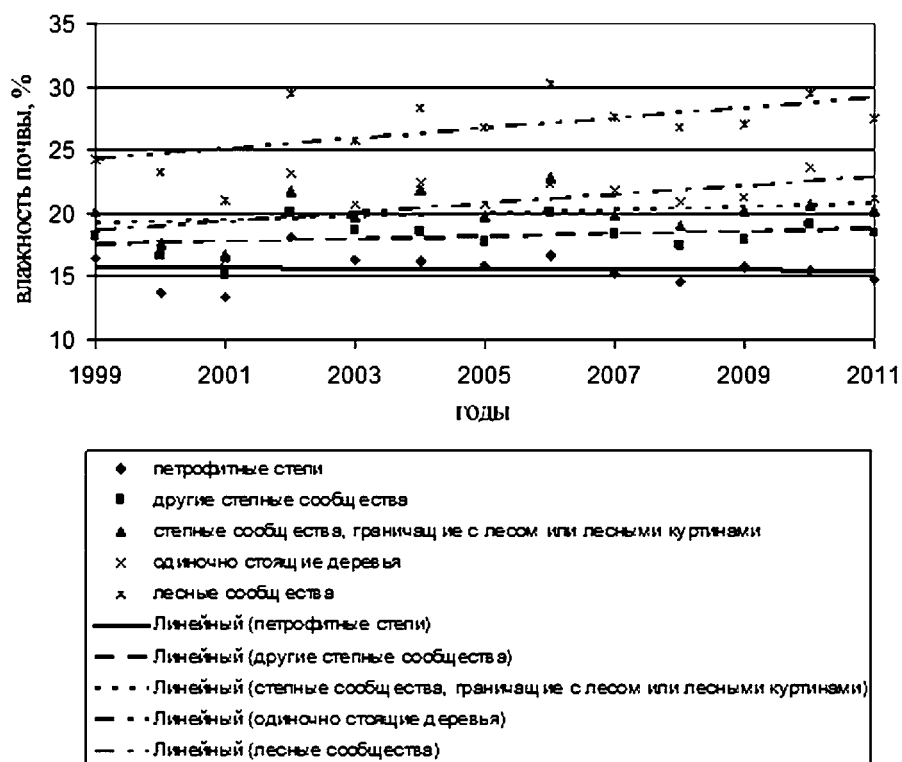


Рис. 5. Среднегодовое изменение влажности почвы в рассматриваемых сообществах на территории КЛЭС в 1999 – 2011 гг.

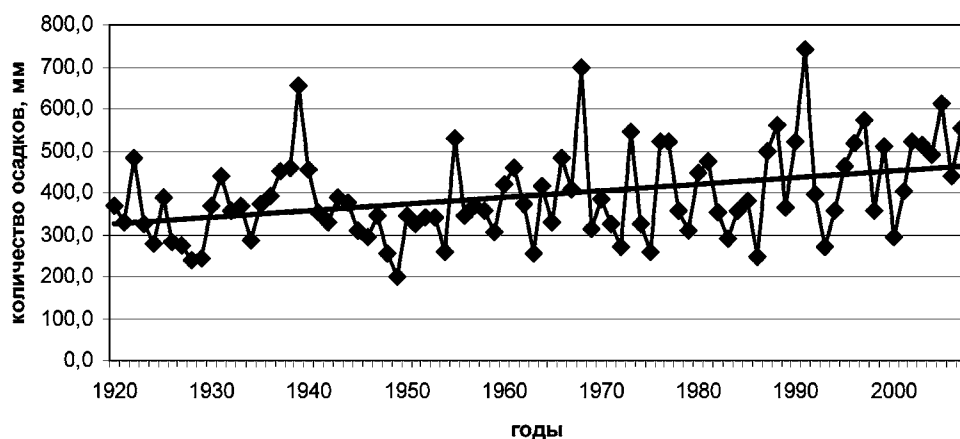


Рис. 6. Изменение годовой суммы осадков на Карадаге

Увеличение годовых сумм осадков привело к росту коэффициента увлажнения Иванова – Высоцкого (рис. 7) на стационаре.

Рост проективного покрытия может быть зафиксирован за счёт роста гидрофильности сообществ, который прослеживается, как уже указывалось, на основе геоботанических карт стационара.

Отсутствие роста влажности почвы в петрофитных сообществах может быть объяснено очень низким проективным покрытием, которое приводит к быстрому иссушению склонов.

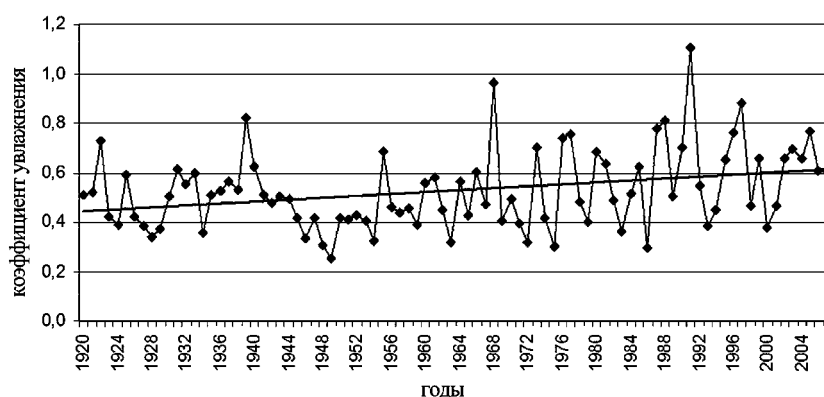


Рис. 7. Изменение коэффициента увлажнения Иванова – Высоцкого на территории КЛЭС

Однако в этом случае возникает противоречие, связанное с тем, что увеличение проективного покрытия приводит, в свою очередь, к увеличению доли осадков, которые перехватываются кронами, и, как следствие, снижается поступление влаги на поверхность почвы. Такой эффект хорошо прослеживается из анализа динамики задержания осадков кронами деревьев.

Исходя из полученных данных о задержании осадков, выявлено, что происходит увеличение повторяемости и задержания осадков величиной 0,1–2 мм. Снижение доли задержанных осадков величиной 2,1–10 мм связано со снижением их повторяемости в рассматриваемый период. За рассматриваемый период происходит рост повторяемости осадков величиной более 10 мм, что соответствует общей схеме проявления эффекта изменения климата в Крыму (Трансформация... 2010).

Осадки данной градации мало задерживаются кронами. Таким образом, рост значений влажности почвы обусловлен снижением испарения с поверхности почвы в силу увеличения проективного покрытия крон и мощности лесной подстилки, а также увеличением повторяемости ливневых осадков, которые и являются поставщиками влаги в почву.

Анализ внутригодового хода влажности почвы показан на рис. 8.

Видно, что разные сообщества характеризуются некоторыми особенностями в этом аспекте. Для лесных сообществ характерен более длительный период сохранения высоких значений влажности почвы, нежели для степных и петрофитно-степных сообществ. Величина этого периода увеличивается в соответствии с увеличением гидрофильности сообществ в направлении от петрофитных степей к лесным сообществам. В целом же, в годовом ходе влажности почвы на стационаре ярко выражены зимний максимум и летний минимум значений.

Таким образом, анализ данных по влажности почвы за период с 1999 по 2012 гг. позволяет сделать два основных вывода:

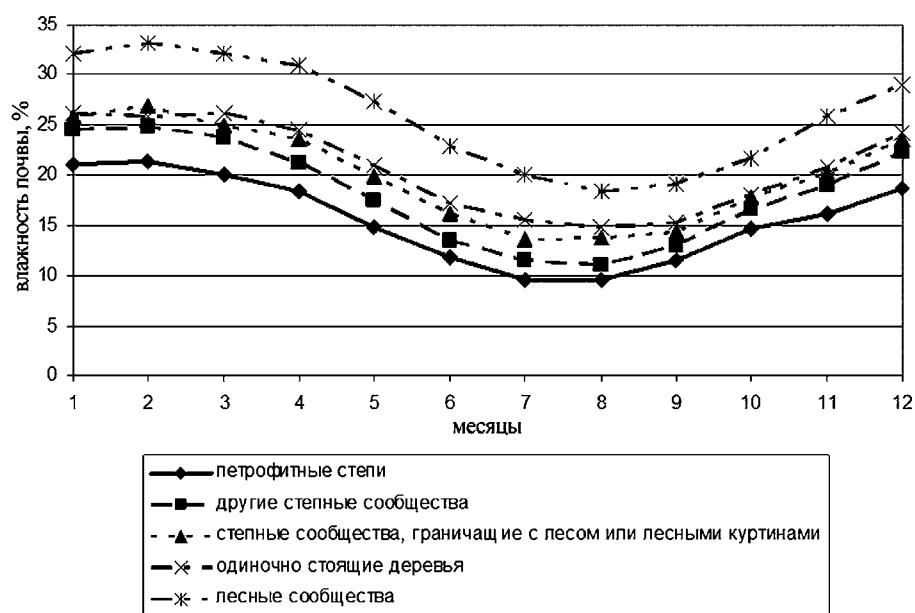


Рис. 8. Годовой ход влажности почвы по группам растительных сообществ на территории КЛЭС (среднеголетние значения за период исследований)

1. За рассматриваемый период наблюдается рост влажности почвы в рассматриваемых группах сообществ, который связан не только с увеличением количества осадков, но также и с увеличением роли лесных сообществ в структуре растительного покрова.

2. Наблюдается выраженный годовой ход влажности почвы, который зависит от положения группы сообществ в гидрологическом ряду.

Анализ поверхностного стока. Наблюдения за поверхностным стоком и смывом почв ведутся с 1996 г. на двух стоковых площадках (СП), расположенных на хорошо задернованных безлесных склонах балки Карадагского ландшафтно-экологического стационара. Основными факторами, влияющими на формирование стока, являются количество и интенсивность осадков, а также влажность почвы.

Для анализа процессов формирования поверхностного стока проведено имитационное моделирование, в основу которого положены данные наблюдений на КЛЭС. Для этого использована АВС-модель (Тимченко и др. 2000).

Любая система, описывающая процессы поверхностного стока со склонов, строится на водобалансовых уравнениях. Суть водного баланса выражает динамический баланс перераспределения воды на слоне. Вода выпадает вместе с осадками, проходит через подстилку и впитывается в почву. Часть воды, которая оказалась в избытке, стекает, образуя поверхностный сток. На этот процесс влияет ряд факторов, обусловленных свойствами и природой самих осадков, подстилки и почвы. Исходя из этого, была составлена концептуальная модель поверхностного стока воды со склонов (рис. 9).

Так, подстилка может вобрать в себя воды (Wol) не больше, чем её собственная максимальная влагоёмкость (Wol_{max}). При достижении подстилкой максимальной влагоёмкости процесс впитывания останавливается и весь последующий объём воды поступает на поверхность почвы (X_s), то есть $Wol = 0$.

Стандартное уравнение АВС-метода для непрерывных процессов имеет вид:

$$X_i = 2X_j [1 - 0,1(X_j - \sum aX_{ij} + C)],$$

где X – системный модуль; a – коэффициент, показывающий степень влияния модуля X_j на X_i ; C – внешний фактор влияния.

Кроме модулей локальных динамических балансов в составе системы могут находиться и пассивные элементы, которые не имеют внутренних обратных связей, удерживающих их в состоянии равновесия. Это так называемые логико-информационные связи между элементами системы, а логические операции принятия решений – интеллектуальные агенты управления (Тимченко и др. 2000). Таким образом, процесс впитывания подстилкой воды можно записать в виде следующего выражения:

$$Wol_i = 2Wol_j [1 - 0,1(Wol_j + AC \{Xol, Wol \max\})]$$

$$AC = IF [Wol < Wol \max; -a_{WolXol}Xol; 0].$$

Примем условие, что количество выпадающих осадков равно количеству осадков, поступивших на поверхность подстилки, то есть $Xol_i = X$.

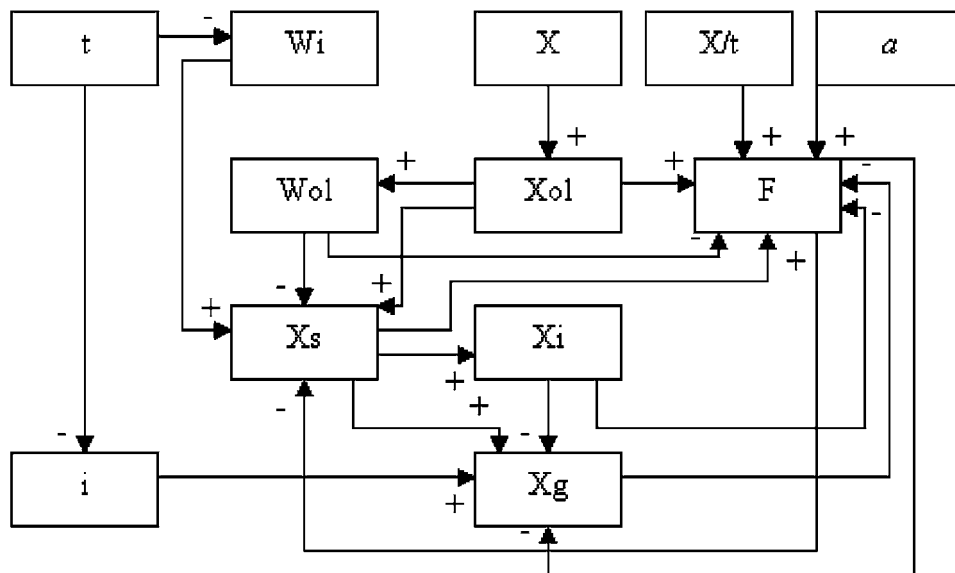


Рис. 9. Концептуальная модель стока воды со склона: Wol – вода, перехватываемая подстилкой; Wi – инфильтрация через подстилку; $Wol \max$ – потенциальная или максимально возможная влагоёмкость подстилки; F – поверхностный сток; Xs – часть воды, поступившая на поверхность почвы; Xi – часть воды, просачивающаяся в почву и заполняющая воздушные полости; Xg – просачивание по вертикали вглубь в горизонты подземных вод; i – инфильтрация; X/t – интенсивность дождя; t – время дождя; a – крутизна склона

В этом случае процесс поступления воды на поверхность почвы описывается уравнением:

$$Xs_i = 2Xs_j [1 - 0,1(Xs_j + a_{XsWol}Wol - a_{XsWi}Wi - a_{XsXol}Xol + a_{XsF}F)],$$

где Wi – инфильтрация воды через подстилку, выражаемая через следующее уравнение:

$$Wi_i = 2Wi_j [1 - 0,1(Wi_j + a_{Wit}t)],$$

где t – время.

Часть воды, попавшая на поверхность почвы, впитается (X_i):

$$X_i = 2X_j [1 - 0,1(X_i + AD\{X_s, P_w\})]$$

$$AD = IF [X_i < P_w; -a_{X_i X_s} X_s; 0],$$

часть уйдёт в нижележащие горизонты (X_g):

$$X_g = 2X_j [1 - 0,1(X_g + a_{X_g X_i} X_i - a_{X_g i} i - a_{X_g X_s} X_s + a_{X_g F} F)],$$

где i – инфильтрация, рассчитываемая по уравнению

$$i_i = 2i_j [1 - 0,1(i_j + a_{it} t)],$$

а остальная часть перейдёт в сток.

Причём при достижении X_i значения максимальной влагоёмкости почвы (P_w) впитывание в почву прекращается и вся вода переходит в подземный и поверхностный сток. Процесс инфильтрации вследствие заполнения почвенных пор водой также со временем стремится к нулю, поэтому в определённый момент переход воды в нижние горизонты почвы также прекращается и вся выпавшая вода уходит со стоком.

Уравнение, описывающее процесс стока воды со склона, может быть записано в следующем виде:

$$F_i = 2F_j [1 - 0,1(F_j + BC \{X_{ol}, X/t, X_g, a, X_i, X_s, W_{ol}\})]$$

$$BC = IF [X/t < X/t^* \text{ and } IF [t < t^*]; 0; -a_{FX_{ol}} X_{ol} - a_{FX/t} X/t + a_{FX_g} X_g - a_{Fa} a + a_{FX_i} X_i + a_{FX_s} X_s + a_{FW_{ol}} W_{ol}].$$

То есть, возможны несколько вариантов развития событий. При малой интенсивности и малом временном интервале сток отсутствует или он минимален. Максимальным сток будет при продолжительном дожде высокой интенсивности.

Используя данные наблюдений за стоком на стоковых площадках Карадагского ландшафтно-экологического стационара, была предпринята попытка смоделировать изменение стока во время дождя разной интенсивности и продолжительности. Для этого все размерные величины приводятся к среднему значению 5, поскольку модели необходимо задать одноразмерные величины. Таким образом, мы получаем, что все экспериментальные значения колеблются от 0 до 10. Далее, подставляя их в модель и пересчитывая полученные модельные величины в реальные размерные, получаем распределение стока воды со склона во время дождя, изображённое на рис. 10.

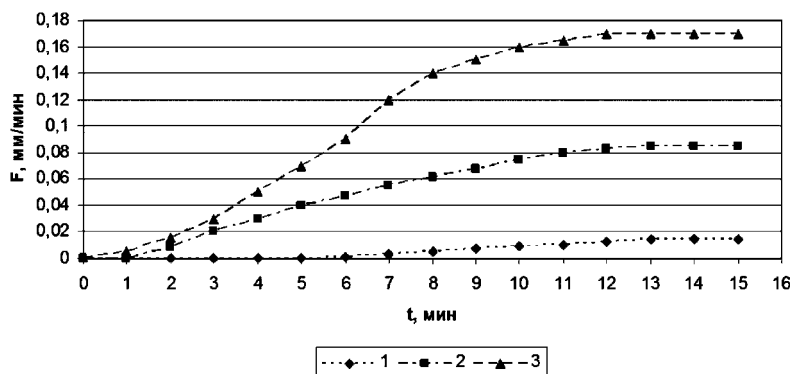


Рис. 10. Поверхностный сток воды при осадках разной интенсивности: 1 – осадки низкой интенсивности; 2 – осадки средней интенсивности; 3 – осадки высокой интенсивности

Количественный анализ составляющих водного баланса. Результаты анализа эмпирических данных об элементах водного баланса на территории КЛЭС сравнивались с полуколичественными данными об элементах водного баланса сомкнутого пушистодубового леса, полученными ранее (Смирнов, 2008). Средняя величина задержания осадков пологом леса в полуколичественной модели составляет 40%. Аналогичная величина, полученная на основании эмпирических данных, – 32,4%.

На основе эмпирических данных и полуколичественных расчетов В.О. Смирнова (2008) нами рассчитаны элементы водного баланса участка пушистодубового леса в пределах КЛЭС для вегетационного периода 2005, 2006 и 2007 гг.

Рассмотрим основные составляющие балансов в долях от общего количества поступающего тепла и влаги.

Пусть общее количество влаги, поступающей к поверхности деятельного слоя леса, равно 100%. При этом до 20–25% составляют горизонтальные осадки – конденсация из тумана, наморось и др. (Ведь, Поляков, 1971), которые играют важную роль в водном балансе крымских лесов. В состав оставшихся 75% входят также и осадки, переносимые с соседнего участка над деятельным слоем в жидком виде. Горизонтальные осадки также включают перенос водяного пара с прилегающих территорий.

Учитывая, что общая сомкнутость составляет 0,75–0,8, то около 75–80% осадков будет поступать к поверхности кроны и преобразовываться ею, 20–25% проникать под полог леса, минуя крону. Перехват влаги кронами дубового леса, т.е. количество влаги, задержанное пологом леса и затраченное на испарение с его поверхности, можно ориентировочно оценить в 20–25% от общего количества осадков (Ландшафтно-геофизические... 2001). Данное явление получило название интерцепция и в крымских лесах частично компенсируется горизонтальными осадками. Оставшаяся часть влаги, задержанной кроной, т.е. приблизительно 55% общего слоя осадков, затрачивается на сток с неё. При этом необходимо учитывать затраты на смачивание задерживающих поверхностей (листья, ветвей, ствола), предшествующее началу процесса стока. Доля стока со стволов дуба составляет 3–5% (Ландшафтно-геофизические... 2001); стекающая вода попадает непосредственно на поверхность почвы, минуя слой травостоя. Порядка 47–50% стекает с поверхности ветвей и листьев, при этом травостой с проективным покрытием в 20% задерживает всего 8–10%, 38–40% всего количества осадков попадает на поверхность, лишённую травостоя. Так же он задерживает часть осадков, проникших под полог леса, минуя крону из-за просветов в ней, которая составляет только 4–5% из-за небольшого проективного покрытия. Оставшиеся 16–20% общего количества осадков попадают на поверхность почвы, минуя травяной покров и кроны деревьев. Таким образом, суммируя все приходные статьи, мы получаем 67–77% общего слоя осадков в виде влаги на поверхности почвы и 12–15%, задержанных травостоем.

Анализируя результаты практических наблюдений за перераспределением влаги в дубовых лесах Подмосковья (Молчанов, 1960), можно сделать вывод о том, что суммарное испарение с травяного покрова, включающего виды, морфологически близкие к видам травостоя крымских лесов, и с поверхности почвы составляет порядка 12–15% всех выпавших осадков. Эти данные при условии сходства отношения поступающих и испаряющихся осадков с большей степенью условности могут быть приняты и для рассматриваемых лесных экосистем Карадага.

Предположив, что размеры физического испарения влаги с поверхности травостоя в отношении к количеству задержанной им воды будут примерно

равны подобному отношению для всего полога, можно заключить, что размеры interception травяного покрова составят 3–4% общего слоя осадков. Отняв эту величину от суммарного испарения с травяного покрова и почвы мы получаем затраты на транспирацию травяного покрова и испарение с поверхности почвы, равные приблизительно 9–11% всех осадков. Количество воды, стекающее с травяного покрова на поверхность почвы, составляет 10–12%.

Вода атмосферных осадков, проникшая сквозь полог леса и скатившаяся по стволам деревьев, может вызвать поверхностный склоновый сток. В пушисто-дубовом поясе доля стока может достигать 30% (Ландшафтно-геофизические... 2001). Однако на территории КЛЭС на поверхности почвы лежит достаточно мощная подстилка. Лесная подстилка обладает большой водопроницаемостью и водоёмкостью; она способна быстро поглотить воду, перевести поверхностный сток во внутригрунтовый, сдерживать испарение и эрозию почв. Подстилка поглощает воды в несколько раз больше, чем её масса в воздушно-сухом состоянии. Следовательно, в данной лесной экосистеме происходит уменьшение размеров поверхностного стока. Однако достоверно определить размеры стока в конкретном лесном насаждении достаточно сложно без практических наблюдений, так как на данный процесс влияет большое число факторов, зависящих от конкретного местоположения: мощность подстилки, характер выпадения осадков, их длительность и интенсивность, крутизна склона и др. На основании этого, с большой долей условности, размеры стока, образующегося на данном участке, были снижены до 10–15% от общего количества осадков.

Вычитая из количества влаги, оказавшейся на поверхности почвы (67–77%), сток и затраты на испарение, возможно оценить размеры поступления влаги в почву. В конкретном примере эта величина составляет 50–60%.

Важнейшей статьёй расхода в водном балансе является десукция растительным покровом. Поглощаемая влага расходуется на процесс транспирации и, возможно, в меньших размерах, на производство органического вещества при фотосинтезе. Согласно измерениям А.А. Молчанова (1960), затраты на транспирацию сомкнутыми дубовыми насаждениями составляют 40–50 % от выпадающих осадков. Более точно сверив морфологические параметры рассматриваемого древостоев и примеров А.А. Молчанова, можно с достаточно высокой точностью отметить, что затраты на транспирацию пологом леса составляют 40–44% при учёте сходства затрат на испарение, сток, interception.

Процесс транспирации для растений является важным физиологическим процессом, который оказывает достаточно сильное влияние и на производство органического вещества; однако непосредственно на построение составных частей своего тела растение использует в среднем 0,2% пропускаемой через себя воды, остальные 99,8% расходуется на испарение. Таким образом, затраты воды на фотосинтез деревьями, а тем более травами, не могут быть учтены при воднобалансовых расчетах из-за их небольших размеров.

Просуммировав затраты на транспирацию и испарение – процессы, при которых происходит выделение водяного пара, возможно определить количество водяного пара в пологе леса. В рассматриваемом примере оно составляет 72–84%.

При сопоставлении величин инфильтрации и десукции возможно приблизительно определить размеры внутрипочвенного и грунтового стока, образующегося на этом участке, – 6–12% от общего слоя выпадающих осадков. Однако данная величина, как и поверхностный сток, является крайне изменчивой. Кроме того, часть влаги может достаточно длительное время накапливаться, как в почве, так и на её поверхности.

Благодаря горизонтальному перераспределению влаги (склоновый сток, метелевый перенос снега и др.) величина наличной влаги оказывается больше или меньше по сравнению с выпавшей. Тем самым в уравнение водного баланса следует вводить величину горизонтального перемещения влаги. Данные процессы частично учтены при включении в водный баланс переноса влаги над деятельным слоем. Велика роль поверхностного и подземного притока вод по периферии участка.

Кроме того, необходимо отметить, что соотношение величин, составляющих водный баланс, является крайне динамичным и зависит от большого числа факторов, и в особенности от характера и количества выпадающих за один дождь осадков. Так, например, при ливневом характере выпадения резко увеличивается размер поверхностного стока, уменьшается испарение с деятельных поверхностей и т.д.

Выводы.

Анализ эмпирических данных воднобалансовых исследований на территории Карадагского ландшафтно-экологического стационара позволил рассчитать количественные значения элементов водного баланса.

Установлено, что на территорию стационара выпадает в среднем 488,9 мм осадков в год, задержание осадков кронами деревьев составляет в среднем 32,4%. В годовом ходе осадков выявлены осенне-зимний максимум и весенне-летний минимум.

В результате анализа влажности почвы в различных растительных ассоциациях, выявлен её рост за рассматриваемый период в рассматриваемых сообществах. Наблюдается выраженный годовой ход влажности почвы, который зависит от положения группы сообществ в гидрологическом ряду.

С целью анализа процессов формирования поверхностного стока проведено имитационное моделирование. На основе эмпирических данных построена АВС-модель поверхностного стока со склонов. Показано, что поверхностный сток – сложный процесс, зависящий от многих факторов. Произведён количественный анализ водного баланса территории стационара.

Благодарности. Авторы выражают благодарность заведующему отделом системной динамики Морского гидрофизического института, д.физ.-мат.н., профессору И.Е. Тимченко и научному сотруднику Научно-исследовательского центра «Технологии устойчивого развития» Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, И.В. Глущенко за помощь в построении и реализации АВС-модели поверхностного стока со склонов.

Литература

- Ведь И.П., Поляков А.Ф. О методике изучения конденсационных осадков в лесах Крыма // Лесоведение. – 1971. – № 2. – С. 90–95.
- Зуев А.В. Наблюдения на Карадагском ландшафтно-экологическом стационаре // Национальная академия наук Украины. Карадагский природный заповедник. Летопись природы. – Симферополь: СОНАТ, 2001. – Том XV. – С. 3–8.
- Зуев А.В. Наблюдения на Карадагском ландшафтно-экологическом стационаре // Национальная академия наук Украины. Карадагский природный заповедник. Летопись природы. – Симферополь: СОНАТ, 2001. – Том XVI. – С. 3–8.
- Каменских Л.Н. Динамика растительного покрова Карадагского ландшафтно-экологического стационара (КЛЭС) // Летопись природы: Том XXIII. 2006 / Под ред. А.Л. Морозовой. – Симферополь: Н.Оріанда, 2008. – С. 19–42.
- Ландшафтно-геофизические условия произрастания лесов юго-восточной части Горного Крыма / Под ред. В.А. Бокова. – Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. – С.136.

Ландшафтно-экологический стационар Карадагского природного заповедника. Вып. 1 / Под ред. А.Л. Морозовой, Ю.И. Будашкина, В.А. Бокова. – Симферополь: Таврия-Плюс, 1999. – С. 112.

Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 486.

Смирнов В.О. Идентификация ландшафтно-экологических свойств территории на основе геотопологической концепции // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана. – 2008. – Вып. 12. – С. 85–90.

Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и ABC-технологии устойчивого развития. – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика, 2000. – С. 225.

Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке – начале XXI века / Под ред. д.г.н., проф. В.А. Бокова. – Симферополь: ДОЛЯ, 2010. – С. 304.

Water balance researches on the territory of Karadag landscape-ecological stationary R. Gorbunov, A. Zuev, V. Smirnov. The empirical data of water balance in the Karadag landscape-ecological stationary are analyzed. It was revealed that the territory of the hospital falls in average 488.9 mm of rainfall a year, the detention of rain by canopy of trees is on average 32.4 %. The autumn and winter maximum and the spring and summer minimum of precipitation during the annual rainfall are identified. By analyzing soil moisture in different plant associations a rise of soil moisture during the period under review is revealed. There is a pronounced annual variation of soil moisture, that depends on the position of group communities in the hydrologic series. In order to analyze the processes of formation of surface runoff simulations was conducted. Based on empirical data ABC-model of surface runoff from the slopes is build. It is shown that surface runoff – a complex process that depends on many factors. A quantitative analysis of the water balance of the territory of the stationary is performed.

Keywords: Water Balance, Karadag Landscape-ecological Stationary, Precipitation, Moisture Reserve, Soil Moisture, Runoff, Evaporation.