

## Баланс грунтовых вод оползневых террас

Животов А.Д.

Подземные воды являются основным агентом миграции химических элементов к земной поверхности и единственным для натрия. Режим грунтовых вод определяет процессы осолонцевания почв и их динамику, доступность влаги для растительности в засушливые периоды.

Наблюдения за грунтовыми водами в горных условиях связаны с определенными трудностями: малой мощностью покровных мелкоземов, резкой изменчивостью уровня во времени и пространстве; сложностью выбора элемента грунтового потока из-за расчлененности рельефа и т. д.

Для создания балансового участка нами выбрана древняя оползневая терраса, находящаяся в 2-х км северо-западнее луговой площадки метеостанции «Джуга». Терраса с максимальными размерами 90×40 м, образована оползнем скольжения на высоте 2000 м. Первоначальный обратный уклон поверхности обусловил заполнение террасовой «чаши» делювиальными отложениями. В результате замедления общего стока и застойного водного режима в пределах оползневой террасы проявились процессы заболачивания. В настоящее время земная поверхность имеет небольшой прямой уклон (2-4°) с характерными мочажинами.

Наблюдательные скважины расположены по «конверту» с диагоналями 51×27 м и расстояниями между ними:  $l_a=27$  м,  $l_b=18$ ;  $l_c=24$ ;  $l_d=9$  м. Выделенный таким образом элемент грунтового потока имеет стороны:  $a=c=13,5$  м;  $b=d=25$  м. Скважинами характеризуются как краевые области террасы (коренной уступ – скв. 5, террасовый склон – скв. 3), так и ее осевая часть (скв. 1, 2, 4). Замеры уровня грунтовых вод осуществлялись с 18 июля по 12 ноября 2001 года.

Грунтовые воды залегают в оторфованных супесчано-суглинистых породах делювиального генезиса, мощностью от первых десятков до 120-140 см. Покровные отложения подстилаются алевритами аксаутской свиты нижней перми. Коэффициент фильтрации водосодержащих пород – 0,4 м/сут, недостаток насыщения – 0,06 (Башкиров, 1995). Мощность водоносного горизонта изменяется от

0 до 130 см, питание осуществляется за счет атмосферных осадков и склонового притока; разгрузка – испарения и склонового оттока.

Используя метод конечных разностей, рассмотрим нелинейное балансовое уравнение неустановившегося движения грунтовых вод для элемента потока в качестве расчетной формулы, выраженной относительно величины питания грунтовых вод ( $\omega$ )

$$\omega = \mu \Delta H_1 / \Delta t - k / 2F [a(h_2+h_1)(H_2-H_1)/l_a + b(h_3+h_1)(H_3-H_1)/l_b + c(h_4+h_1)(H_4-H_1)/l_c + d(h_5+h_1)(H_5-H_1)/l_d],$$

где  $\mu$  – недостаток насыщения пород;  $k$  – коэффициент фильтрации пород;  $F=338 \text{ м}^2$  – площадь элемента потока;  $\Delta H_1$  – изменение уровня грунтовых вод в элементе потока за время  $\Delta t$  (по центральной скважине 1);  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$  – мощность водоносного горизонта в скважинах 1, 2, 3, 4, 5 на средний ( $s+1$ ) момент промежутка времени  $\Delta t$ ;  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5$  – уровень (отметка) грунтового потока в скважинах 1, 2, 3, 4, 5 на средний момент промежутка времени;  $a, b, c, d$  – длины сторон элемента потока;  $l_a, l_b, l_c, l_d$  – расстояние между центральной 1 и боковыми скважинами 2, 3, 4, 5.

Расчет величины интенсивности питания грунтовых вод приведен в таблице 1. Разность между притоком и оттоком грунтовых вод определяется в процессе вычисления по значениям водопроницаемости пород и отметок уровня воды в наблюдательных скважинах. Приток изменяется от 0,06 до 1,03 мм/сут при среднем значении 0,63 мм/сут ( $2,3 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). Величина притока составляет 18-88% оттока и только с 18 по 28 сентября преобладает над последним. Среднее значение оттока равно 0,83 мм/сут ( $3 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). За рассмотренный период на оползневую террасу с коренного склона поступило 72,2 мм ( $260 \text{ м}^3$ ) подземных вод при разгрузке 95,6 мм ( $344 \text{ м}^3$ ).

Интенсивность питания грунтовых вод колеблется от  $-0,91$  до  $3,88$  мм/сут (табл. 1). Положительные значения величины  $\omega$  указывают на имеющую место инфильтрацию осадков, достигающих зеркала грунтовых вод, отрицательные значения – на отток этих вод и передвижение влаги в зону аэрации (испарение + транспирация растениями).

На основе вычисленных величин питания грунтовых вод и разностей притока и оттока их для элемента потока составляем баланс для каждого расчетного промежутка времени  $\Delta t$  (табл. 2). С 18 июля по 12 ноября общее пополнение запасов грунтовых вод

составило 54,2 мм слоя воды. Из этого количества на инфильтрацию осадков приходится 98,5%. При сумме осадков за балансовый период 229,3 мм инфильтрация их до грунтовых вод составила 23,2%. Около 1,5% общего прихода воды относилось к боковому притоку за вычетом оттока.

Поступившее количество подземной воды расходовалось на испарение (23,8 мм или 44,6% от инфильтрации) и на подземный отток, превышающий приток. Разность оттекающей и притекающей воды составляла 22,9 мм или 49% от всех расходных элементов. С 18 по 28 сентября приток превышал отток на 0,8 мм. В результате перавенства прихода и расхода воды в элементе потока накопилось 7,8 мм слоя воды (табл. 2).

Таким образом, основными элементами баланса грунтовых вод являются инфильтрация атмосферных осадков и расходование грунтовых вод на испарение и транспирацию. Размер местного восполнения подземного стока (22,9-0,8) составил 22,1 мм слоя воды, что отвечает модулю стока  $6,9 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ . Интересно отметить, что близкие значения модуля подземного стока ( $5-7,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ ) получены нами ранее при расчленении гидрографов рк (Животов, 2002).

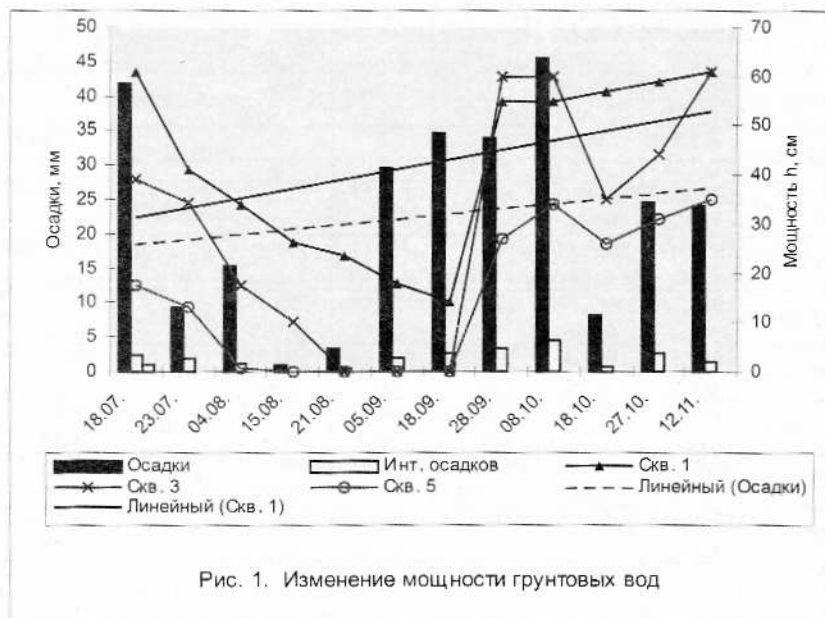


Рис. 1. Изменение мощности грунтовых вод

Подземный сток на участке формируется из двух источников. В период отсутствия или малого количества осадков отток из элемента происходит за счет сработки статических запасов грунтовой воды, которые были накоплены ранее (рис. 1). В период инфильтрации атмосферных осадков приток-отток грунтовой воды в горизонтальном направлении максимальный (1,0-1,3 мм/сут), достигая 80% от общего баланса. В солнечные дни преобладающим элементом баланса становится испарение с уровня грунтовых вод, интенсивность которого 0,5-1,0 мм/сут, что составляет 50-90% всех статей баланса (табл. 2).

Таблица 1

**Расчет величины интенсивности питания грунтовых вод  
(оползневая заболоченная терраса на б/ст «Джуга»)**

Дата среднего момента времени	Отметка уровня воды Н и мощность потока h, м					Дата начала и конца периода	Уровень и мощность потока Н, м h, м
	Скв. 1 Н h <sub>1, s+1</sub>	Скв. 2 Н h <sub>2, s+1</sub>	Скв. 3 Н h <sub>3, s+1</sub>	Скв. 4 Н h <sub>4, s+1</sub>	Скв. 5 Н h <sub>5, s+1</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8
20.07.01.	1998,965 0,665	1999,41 0,51	1997,966 0,366	1998,402 0,182	1999,404 0,154	18.07.01	1999,0 0,7
28.07.01.	1998,895 0,595	1999,275 0,375	1997,859 0,259	1998,286 0,066	1999,32 0,07	23.07.01.	1998,93 0,63
09.08.01.	1998,771 0,471	1999,202 0,302	1997,738 0,138	1998,25 0,03	1999,29 0,04	04.08.01.	1998,86 0,56
18.08.01	1998,654 0,354	1999,15 0,25	1997,651 0,051	0 0	0 0	15.08.01.	1998,682 0,382
28.08.01.	1998,578 0,278	1999,108 0,208	0 0	0 0	0 0	21.08.01.	1998,625 0,325
11.09.01.	1998,494 0,194	1999,06 0,16	0 0	0 0	0 0	05.09.01.	1998,531 0,231
23.09.01.	1998,788 0,488	1999,246 0,346	1997,9 0,3	1998,495 0,275	1999,385 0,135	18.09.01.	1998,456 0,156
03.10.01.	1999,125 0,825	1999,45 0,55	1998,2 0,6	1998,745 0,525	1999,555 0,305	28.09.01.	1999,12 0,82
13.10.01.	1999,1 0,8	1999,46 0,56	1998,075 0,475	1998,635 0,415	1999,55 0,3	08.10.01.	1999,13 0,83
22.10.01.	1999,08 0,78	1999,48 0,58	1997,995 0,395	1998,515 0,295	1999,535 0,285	18.10.01.	1999,07 0,77
04.11.01.	1999,115 0,815	1999,5 0,6	1998,125 0,525	1998,635 0,415	1999,58 0,33	27.10.01.	1999,09 0,79
						12.11.01.	1999,14 0,84

продолжение таблицы 1

Дата ср. момента времени	Изменение уровня $\Delta H$ , м	Промежуток времени $\Delta t$ , сут.	$1000\mu \times \Delta H / \Delta t$	$1000k$	$a(h+h_1) / \int_a^1$ ( $H_2 - H_1$ )	$b(h+h_1) / \int_b^1$ ( $H_3 - H_1$ )	$c(h+h_1) / \int_c^1$ ( $H_4 - H_1$ )	$d(h+h_1) / \int_d^1$ ( $H_5 - H_1$ )	Интенсивность питания грунтовых вод $\omega$ , мм/сут
1	9	10	11	12	13	14	15	16	17
20.07.01.	- 0,07	5	- 0,840	0,59	0,262	- 1,432	- 0,269	1,000	- 0,58
28.07.01.	- 0,07	12	- 0,350	0,59	0,184	- 1,230	- 0,225	0,786	- 0,06
09.08.01.	- 0,18	11	- 0,982	0,59	0,166	- 0,874	- 0,146	0,737	- 0,91
18.08.01.	- 0,06	6	- 0,600	0,59	0,150	- 0,565	- 0,086	0,421	- 0,55
28.08.01.	- 0,09	15	- 0,360	0,59	0,129	- 0,378	- 0,056	0,066	- 0,22
11.09.01.	- 0,08	13	- 0,369	0,59	0,100	- 0,241	- 0,030	- 0,105	- 0,21
23.09.01.	0,66	10	3,96	0,59	0,191	- 0,972	- 0,125	1,034	3,88
03.10.01.	0,01	10	0,06	0,59	0,224	- 1,832	- 0,287	1,351	0,38
13.10.01.	- 0,06	10	- 0,360	0,59	0,245	- 1,816	- 0,316	1,376	- 0,06
22.10.01.	0,02	9	0,133	0,59	0,272	- 1,772	- 0,340	1,347	0,42
04.11.01.	0,05	16	0,188	0,59	0,273	- 1,844	- 0,331	1,480	0,44

Таблица 2

**Баланс грунтовых вод  
(оползневая заболоченная терраса на б/ст «Джуга»)**

Дата начала периода	Промежуток времени $\Delta t$ , сут	Изменение запасов грунтовых вод $\mu\Delta H_2$ , мм/сут	Интенсивность питания грунтовых вод сверху $q$ , мм/сут	Разность между притоком и оттоком гр. вод, мм/сут	Накопление воды за время $\Delta t$ за счет		Убыль воды за время $\Delta t$ за счет		Изменение запасов грунтовых вод $1000\mu\Delta H_2$ , мм	Контрольный расчет		
					подземного притока за вычетом оттока, мм	инфильтрации сверху, мм	подземного оттока за вычетом притока, мм	испарения с грунтовых вод, мм		водоотдача $\mu$	изменение уровня воды $\Delta H_2$ , м	изменение запасов грунтовых вод $1000\mu\Delta H_2$ , мм
18.07	5	- 0,84	- 0,58	- 0,26	-	-	1,3	2,9	- 4,2	0,06	- 0,07	- 4,2
23.07	12	- 0,35	- 0,06	- 0,29	-	-	3,5	0,7	- 4,2	0,06	- 0,07	- 4,2
04.08	11	- 0,98	- 0,91	- 0,07	-	-	0,8	10,0	- 10,8	0,06	- 0,18	- 10,8
15.08	6	- 0,60	- 0,55	- 0,05	-	-	0,3	3,3	- 3,6	0,06	- 0,06	- 3,6
21.08	15	- 0,36	- 0,22	- 0,14	-	-	2,1	3,3	- 5,4	0,06	- 0,09	- 5,4
05.09	13	- 0,37	- 0,21	- 0,16	-	-	2,1	2,7	- 4,8	0,06	- 0,08	- 4,8
18.09	10	3,96	3,88	0,08	0,8	38,8	-	-	39,6	0,06	0,66	39,6
28.09	10	0,06	0,38	- 0,32	-	3,8	3,2	-	0,6	0,06	0,01	0,6
08.10	10	- 0,36	- 0,06	- 0,30	-	-	3,0	0,6	- 3,6	0,06	- 0,06	- 3,6
18.10	9	0,13	0,42	- 0,29	-	3,8	2,6	-	1,2	0,06	0,02	1,2
27.10-12.11	16	0,19	0,44	- 0,25	-	7,0	4,0	-	3,0	0,06	0,05	3,0
Сумма, мм					0,8	53,4	22,9	23,8	+ 7,8		+ 0,13	+ 7,8
То же, %					1,5	98,5	42,0	43,7	+ 14,3			

### Литература

Башкиров А.Н. 1995. Отчет Сахрайского отряда Лабинской ГСП о проведении опережающих геохимических поисков масштаба 1:50 000 и геоэкологических исследований за 1990-1995 г.г. (листы Л-37-141-Г-б, Л-37-142-В; К-37-9-А; К-37-9-Б). Ессентуки.

Животов А.Д. 2002. Формирование водных ресурсов на территории биосферной станции «Джуга» // Биоразнообразии и мониторинг природных экосистем в Кавказском государственном природном биосферном заповеднике. Новочеркасск: изд. «Дорос». С. 237-244.

Лебелев А.В. 1989. Оценка баланса подземных вод. М.: изд. «Недра». 174 с.

Чеботарев Н.П. 1962. Учение о стоке. М.: изд. МГУ. 405 с.