

Состояние малых рек Молдовы как угроза водной безопасности в условиях изменения климата

Роман Коробов

*Международная ассоциация
хранителей реки «Эко-Тирас»*

Кишинев, Молдова

Водные ресурсы и изменение климата

- **Вода** – первичная среда, через которую осуществляется воздействие климата на природу и экосистемы и, таким образом, на средства существования и благосостояние общества.
- **Состояние водных ресурсов** – наиболее чувствительный природный индикатор, непосредственно реагирующий на изменения температуры воздуха и осадков, и их экстремальные проявления. Поэтому, климатические изменения прежде всего ощущаются через воздействия на воду.
- Отсюда, **менеджмент водных ресурсов** рассматривается как ключ к адаптации к изменению климата. Если **“ослабление изменения климата (mitigation) – это проблема парниковых газов, то адаптация к изменению климата – это проблема воды»**.

«Водная безопасность» как концепция

Водная безопасность — это обеспечение населения гарантированным и устойчивым доступом к достаточному количеству приемлемой по качеству воды, необходимой для поддержания уровня жизни, благосостояния и социально-экономического развития.

Водная безопасность включает также обеспечение защиты населения от передающихся через воду загрязнений и сохранение экосистем.

Ключевые аспекты водной безопасности:

Экономический

Социальный

Экологический

Малые реки в проблеме водной безопасности

Повышенная *чувствительность* малых рек (реки с длиной русла от 10 до 100 км) к антропогенным и климатическим нагрузкам определяется следующими факторами:

- Малые реки – это одновременно водные артерии и коллекторы сточных и дренажных вод, зачастую сопоставимых по объему со стоком самой реки
- Интенсивная хозяйственная деятельность, которая затрагивает как основное русло малой реки, так и ее водосбор
- Зарегулированность стока и антропогенное вмешательство в русло реки
- Пониженная самоочистительная способность реки из-за относительно малого стока.

Деградации и антропогенная трансформация, зачастую превратившие малые реки в простые водотоки, делает их особенно чувствительными к изменчивости и изменению климата.

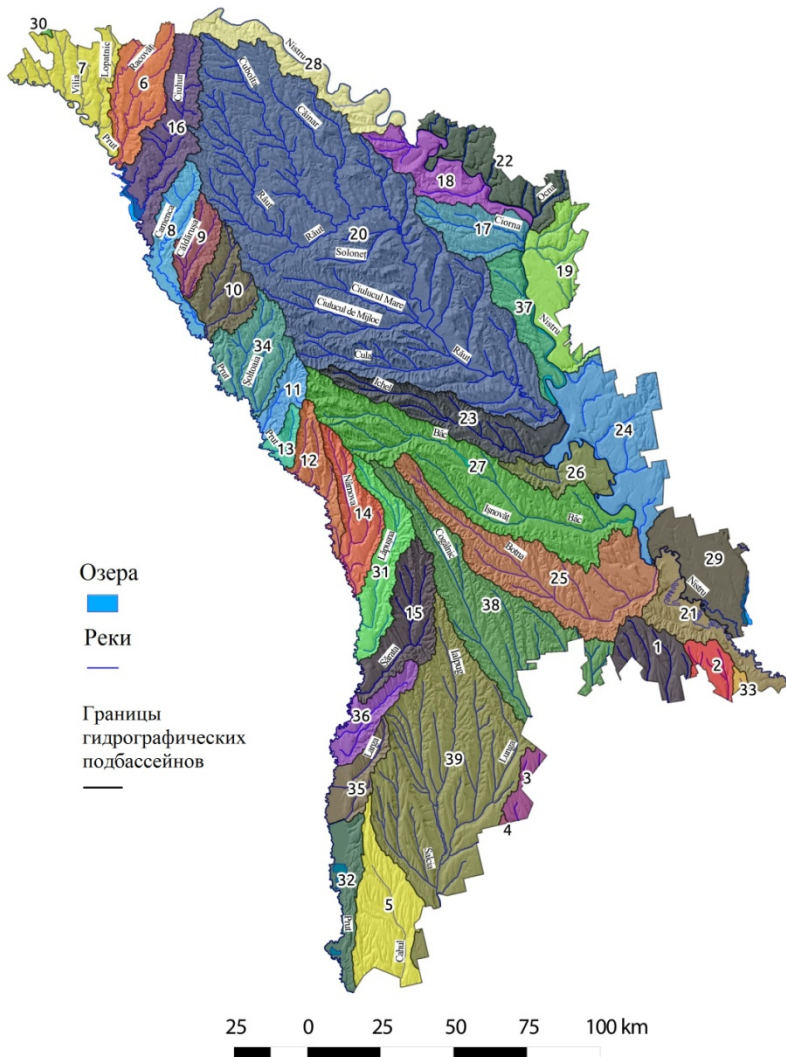
Малые реки Молдовы

Гидрографическая сеть Молдовы насчитывает 126 малых рек

В условиях потепления климата, с усиливающимся преобладанием испарения над осадками, особенно в сочетании с интенсивным загрязнением и отсутствием водоохранных полос, наблюдается интенсивное обмеление и высыхание этих рек.

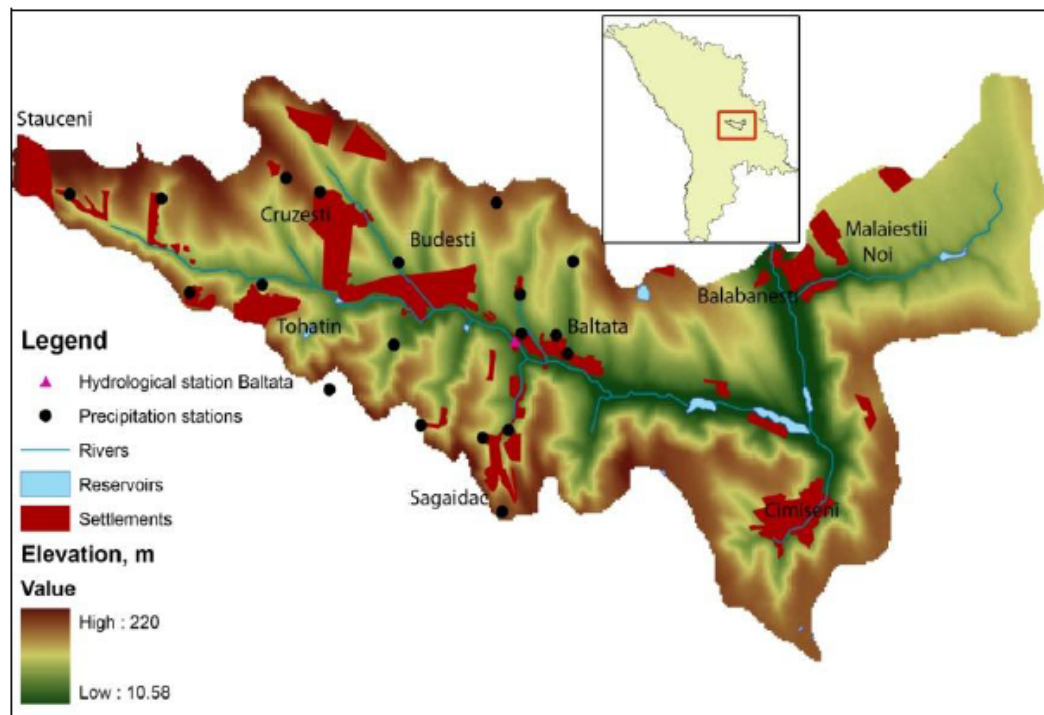
В результате, большинство малых рек Молдовы становятся непригодными для любого вида водопотребления, что серьезно сказывается на общем состоянии экосистем страны.

Карта гидрографических подбассейнов



Малые реки в изменяющемся климате на примере р. Балцата

Бассейн реки Балцата

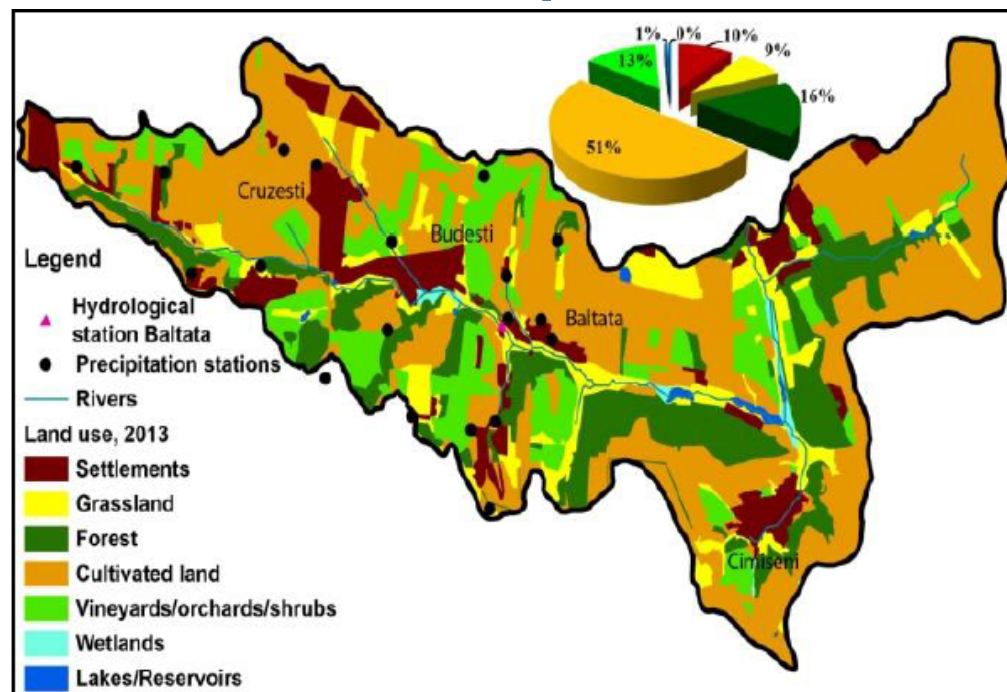


Физико-географическая справка бассейна

Р. Балцата – правый приток Днестра. Площадь бассейна – 153,9 км², протяженность с СЗ на ЮВ – 27,47 км, ширина – 7,74 км. Абс. высоты – от 16 м до 219 м (в среднем 120 м). Уклоны поверхности – от нуля до 17°; наиболее частые – от 2° до 5°, с примерно равным распределением экспозиций склонов.

Антропогенная трансформация бассейна р. Балцата

В результате антропогенных преобразований естественный сток реки существенно изменился, практически полностью накапливаясь в искусственных прудах. Забор воды для серьезных практических нужд осуществляется лишь из этих водоемов, а основное русло превратилось в мелкий водоток, включая устье.



Карта землепользования в бассейне р. Балцата, классифицированная по 7 параметрам



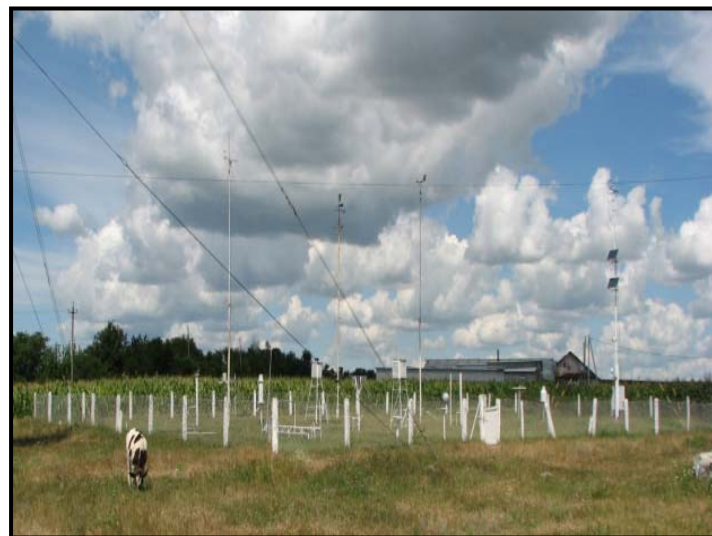
Типичный вид основного русла и его состояние при впадении в р. Днестр

Современный и ожидаемый климат бассейна

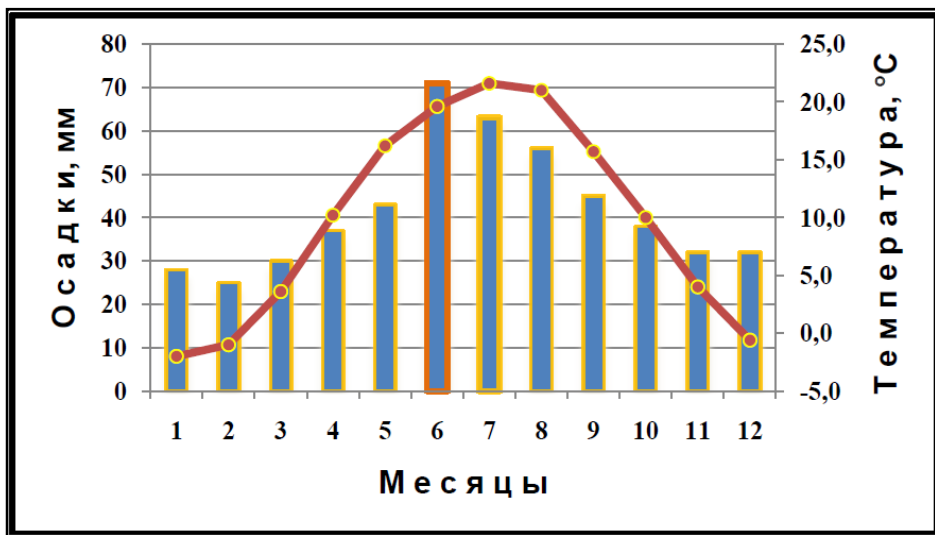
Исходный материал для исследования:

1. Наблюдения на гидрометеорологической станции Балцата за 1981-2010 годы (базовое климатическое тридцатилетие)

2. Моделируемые проекции ожидаемого изменения климата, полученные с использованием Региональных Климатических Моделей высокого разрешения.



Метеостанция Балцата



Среднемесячные **осадки** (столбцы) и кривая среднемесячных **температур воздуха** в бассейне р. Балцата (1981-2010 гг.)

Среднесезонные значения **температуры воздуха** и **осадков** и их межгодовая изменчивость

Сезон	Температура воздуха, °C									Осадки, мм		
	Средняя			Максимальная			Минимальная					
	$\bar{X}$	$A_{мп}$	CV, %	$\bar{X}$	$A_{мп}$	CV, %	$\bar{X}$	$A_{мп}$	CV, %	$\bar{X}$	$A_{мп}$	CV, %
Зима	-1,2	8,4	11,8	2,3	8,3	23,8	-4,5	8,6	32,5	86	174	49,0
Весна	10,0	5,6	12,1	15,9	7,2	10,9	4,4	4,0	17,8	109	188	41,9
Лето	20,7	5,3	5,3	27,2	6,2	5,2	14,3	3,6	5,7	191	250	35,9
Осень	9,9	4,4	10,7	15,3	4,9	8,2	5,1	4,1	21,6	115	210	48,8
Год	10,2	4,1	11,9	15,2	4,4	7,7	4,8	3,1	14,8	501	377	64,9

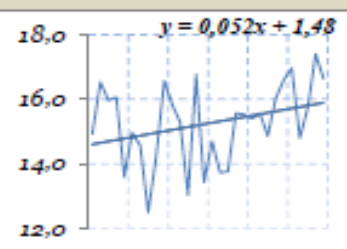
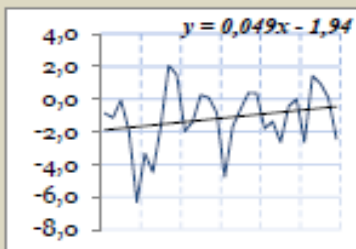
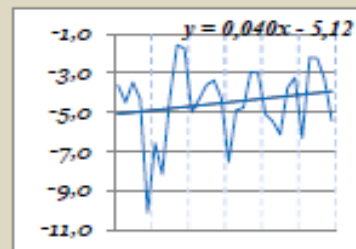
Среднемесячная температура, °C

Минимальная

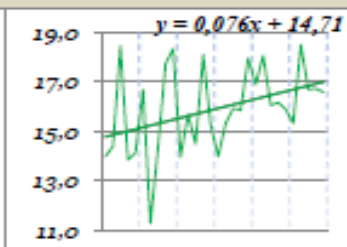
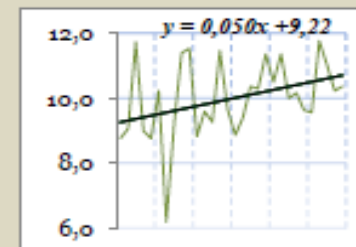
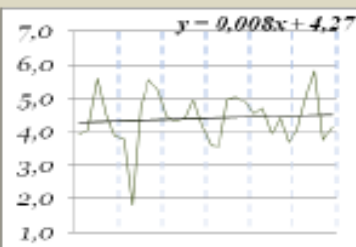
Средняя

Максимальная

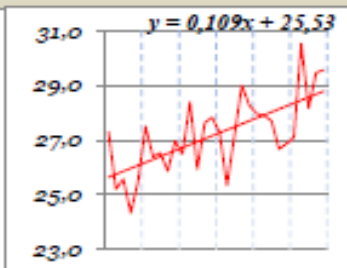
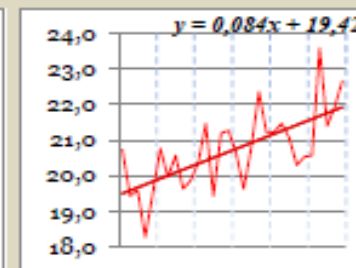
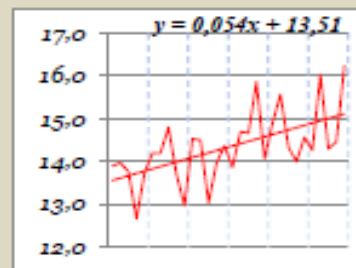
Зима



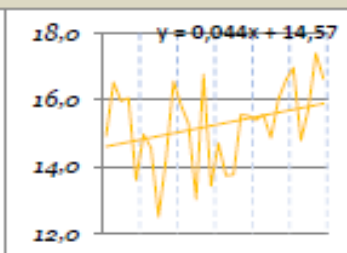
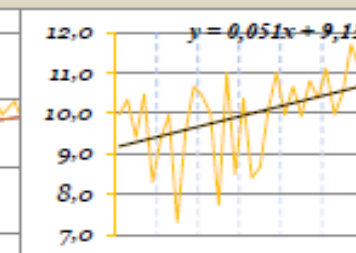
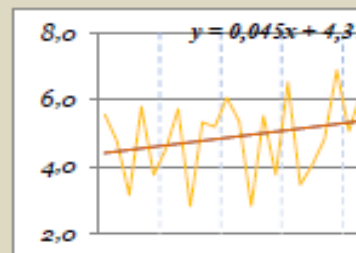
Весна



Лето



Осень



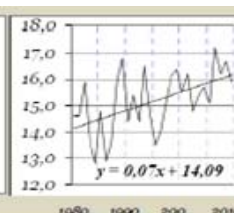
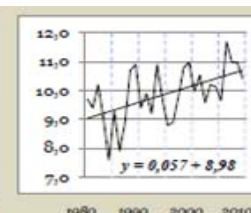
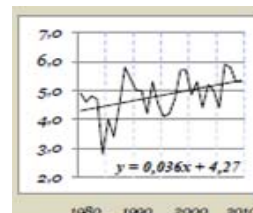
Тренды температуры в 1981-2010 гг.

Среднегодовая температура

Минимальная

Средняя

Максимальная

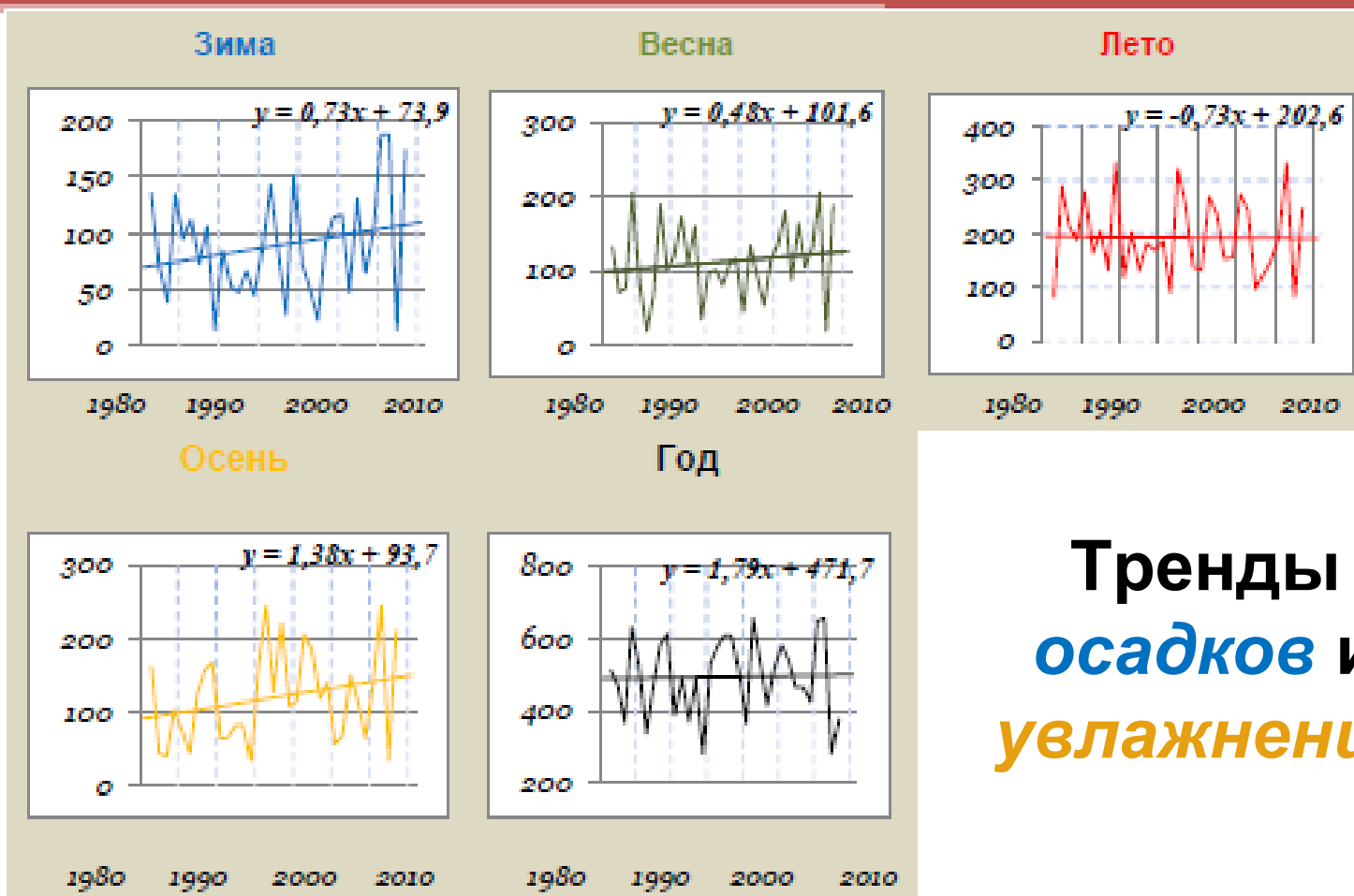


1980 1990 2000 2010

1980 1990 2000 2010

1980 1990 2000 2010

0



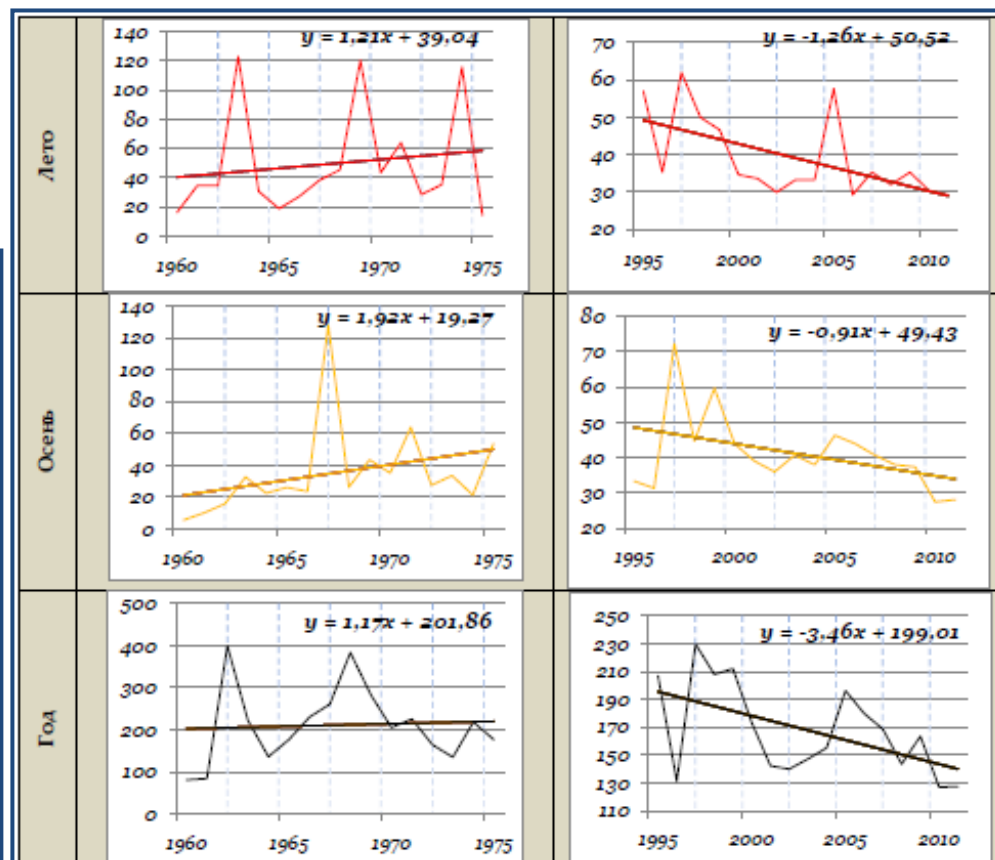
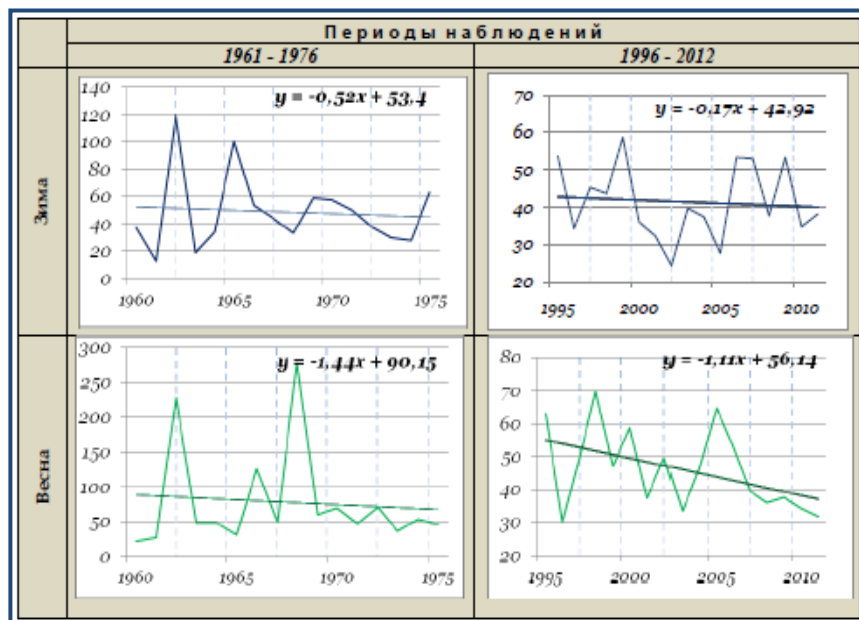
Тренды осадков и увлажнения

Период наблюдения	М е с я ц ы						
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	Октяб
1961-1990	0,63	0,43	0,64	0,65	0,40	0,62	0,59
1981-2010	0.53	0,35	0,57	0,50	0,46	0,62	0,85

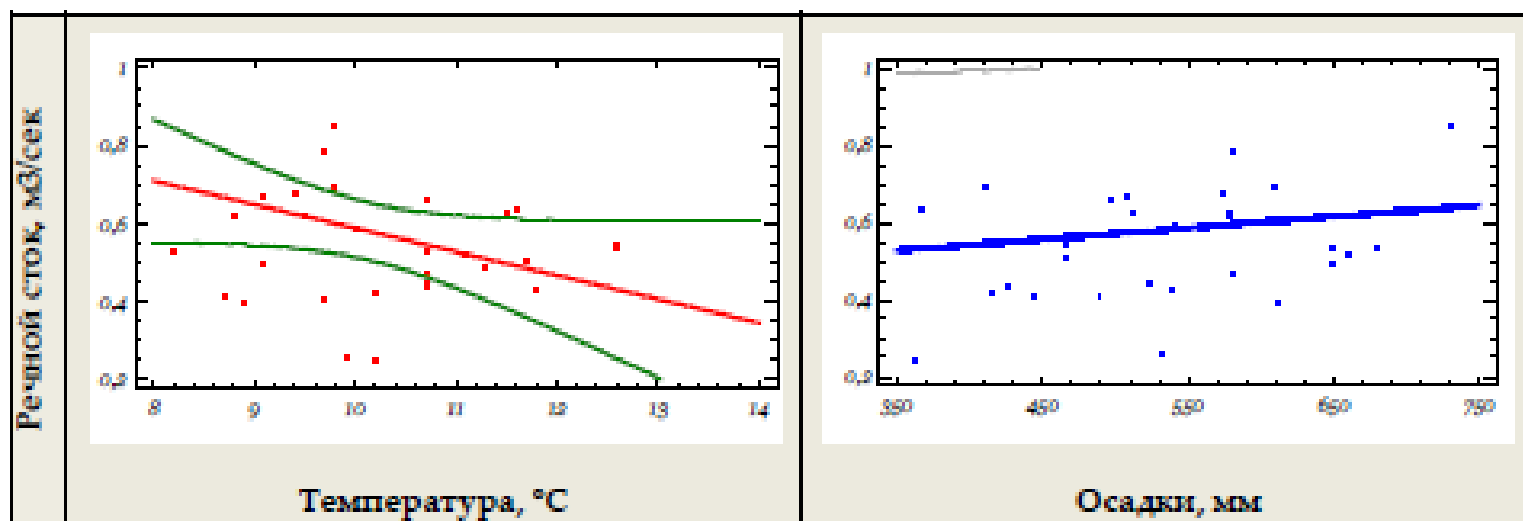
Тренды сток р. Балцата в два периода наблюдений (1961-1976 vs. 1996-2012)



Гидрологический пост у с. Балцата работал с 1954 г по 2012 г. Ввиду перерыва в качественных наблюдениях, для анализа выбраны два примерно равных промежутка времени в начале и конце ряда наблюдений.



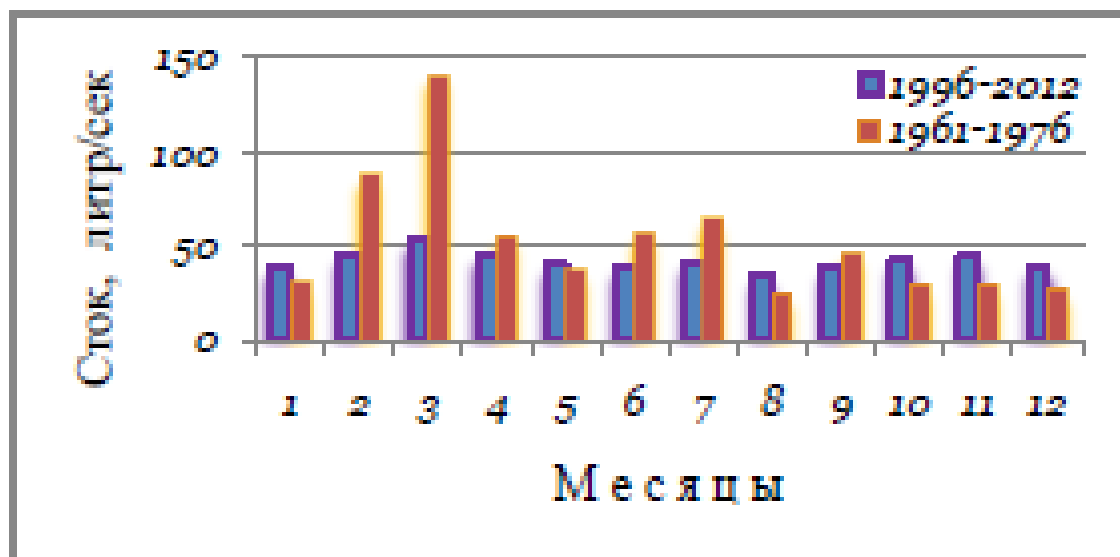
Связь стока р. Балцата с температурой воздуха и осадками



Линейная зависимость стока (м3/сек) от температуры и осадков

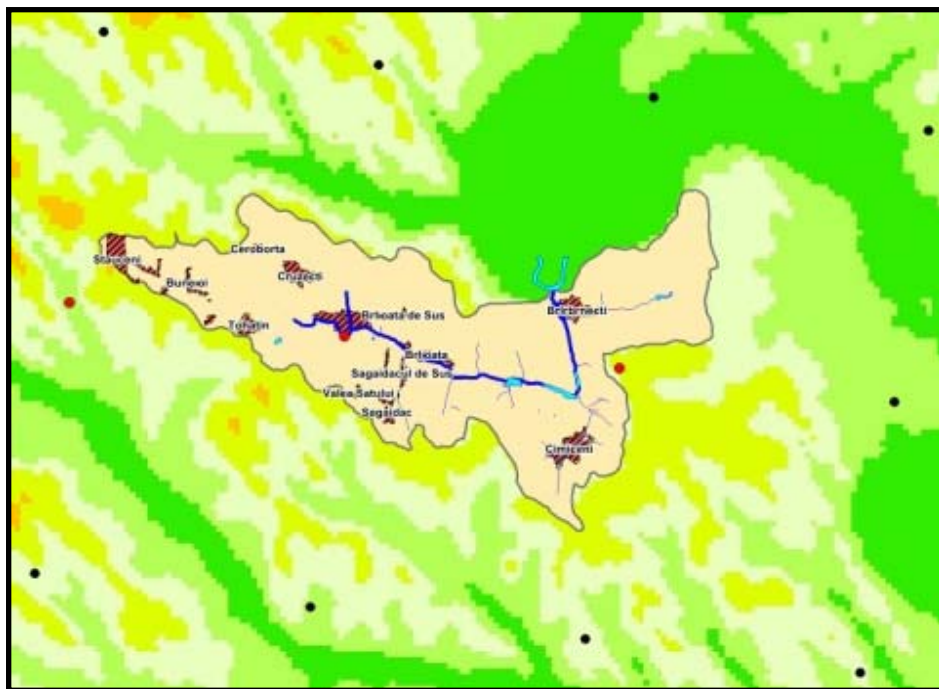
Регрессия	Температура воздуха	Суммарные осадки
Простая линейная	$Q = 1,196 - 0,061T; r = -0,332; p = 0,068$	$Q = 0,424 + 0,294 \cdot 10^{-3}P; r = 0,140; p = 0,452$
Множественная линейная	$Q = 1,063 - 0,059T + 0,208 \cdot 10^{-3}P; R = 3,465; p = 0,167$	

Сезон	Период наблюдений		Изменение стока	
	1961-1976	1996-2012	Абс., л/сек	Отн., %
Зима	49,0	41,7	-7,3	-15
Весна	77,9	46,4	-31,5	-40,4
Лето	49,3	38,7	-10,6	-21,4
Осень	35,6	41,8	6,2	17,4
Год	53,0	42,2	-10,8	-20,5



**Сток р. Балцата
и его годовая
динамика в два
периода
наблюдений**

Ожидаемые изменения климата и поверхностного стока в бассейне реки Балцата



Ожидаемое изменение климата при различных сценариях радиационной нагрузки на климатическую систему

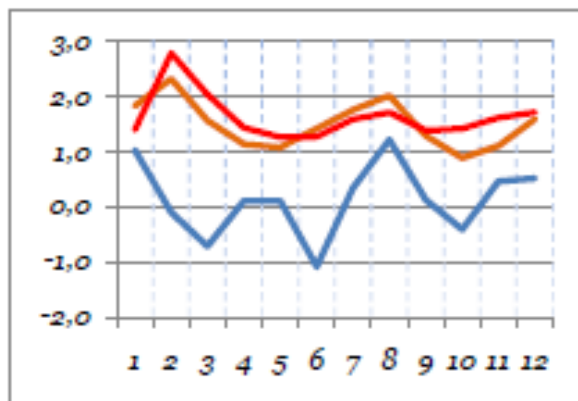
Расположение бассейна р. Балцата в сетке узлов моделирования

- **Жесткий сценарий – RCP8.5** – высокая радиационная нагрузки, при которой она к 2100 г достигнет более 8.5 W/m^2 , продолжая расти дальше, со стабилизацией концентраций ПГ примерно к 2250 г.
- **Умеренный сценарий – RCP6.0 & RCP4.5** – две промежуточные радиационные нагрузки, с уровнем к 2100 г примерно 6 W/m^2 и $4-5 \text{ W/m}^2$, соответственно, и стабилизацией концентрации ПГ к 2150 г;
- **Мягкий сценарий – RCP2.6** – слабая радиационная нагрузка с пиком к 2100 г; концентрации ПГ начнут снижаться после 2070 г.

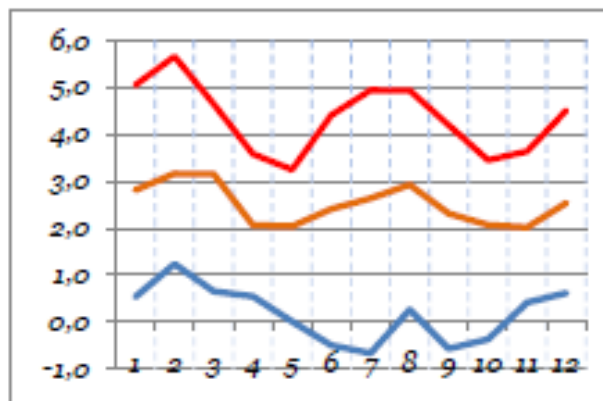
Проекции изменения температуры воздуха

Сезон	1971 – 2000	Временной горизонт (годы)					
		2021-2050			2071-2100		
		Репрезентативные пути концентрации (RCPs)					
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Зима	-2.0	0,5	1,9	2,0	0,8	2,8	5,1
Весна	9.4	-0,2	1,2	1,6	0,4	2,4	3,8
Лето	19.7	0,2	1,7	1,5	-0,3	2,7	4,8
Осень	9.1	0,1	1,1	1,5	-0,2	2,1	3,8
Год	9.1	0,1	1,5	1,6	0,2	2,5	4,4

2021-2050



2071-2100



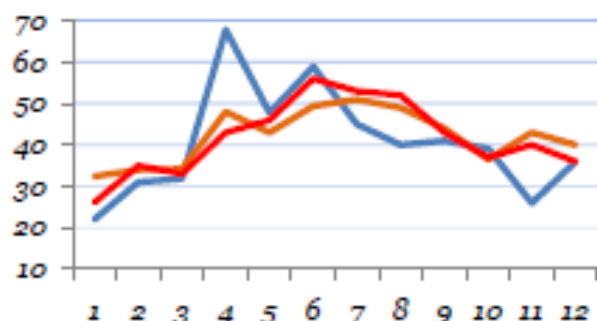
**Сценарии
радиационной
нагрузки**

— RCP2.6; — RCP4.5; — RCP8.5

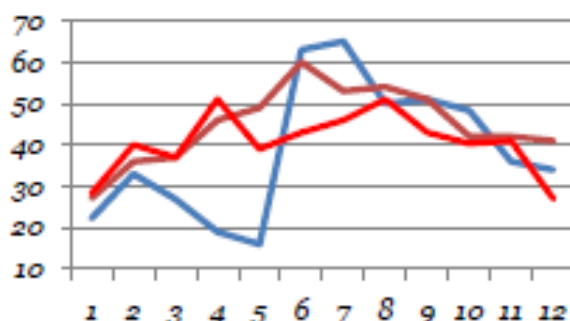
Проекции изменения осадков

Сезон	1971-2000	Временной горизонт изменения (годы)											
		2021-2050						2071-2100					
		Репрезентативные пути концентрации (RCPs)											
		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
		Абс	%	Абс	%	Абс	%	Абс	%	Абс	%	Абс	%
Зима	85	4	4.7	21	24.7	12	16.6	4	4.7	19	22.4	10	11.8
Весна	117	30	21.9	8	5.8	5	4.3	30	25.5	15	12.8	8.5	14.6
Лето	193	-49	-25.4	-44	-22.8	-32	-16.6	-15	-7.8	-26	-13.5	-53	-27.5
Осень	118	-12	-10.2	6	5.1	2	1.7	17	5.7	17	14.4	6	5.1
Год	512	-26	-5.1	-7	-1.4	-12	-2.3	36	7.0	26	5.1	25	4.9

2021-2050



2071-2100



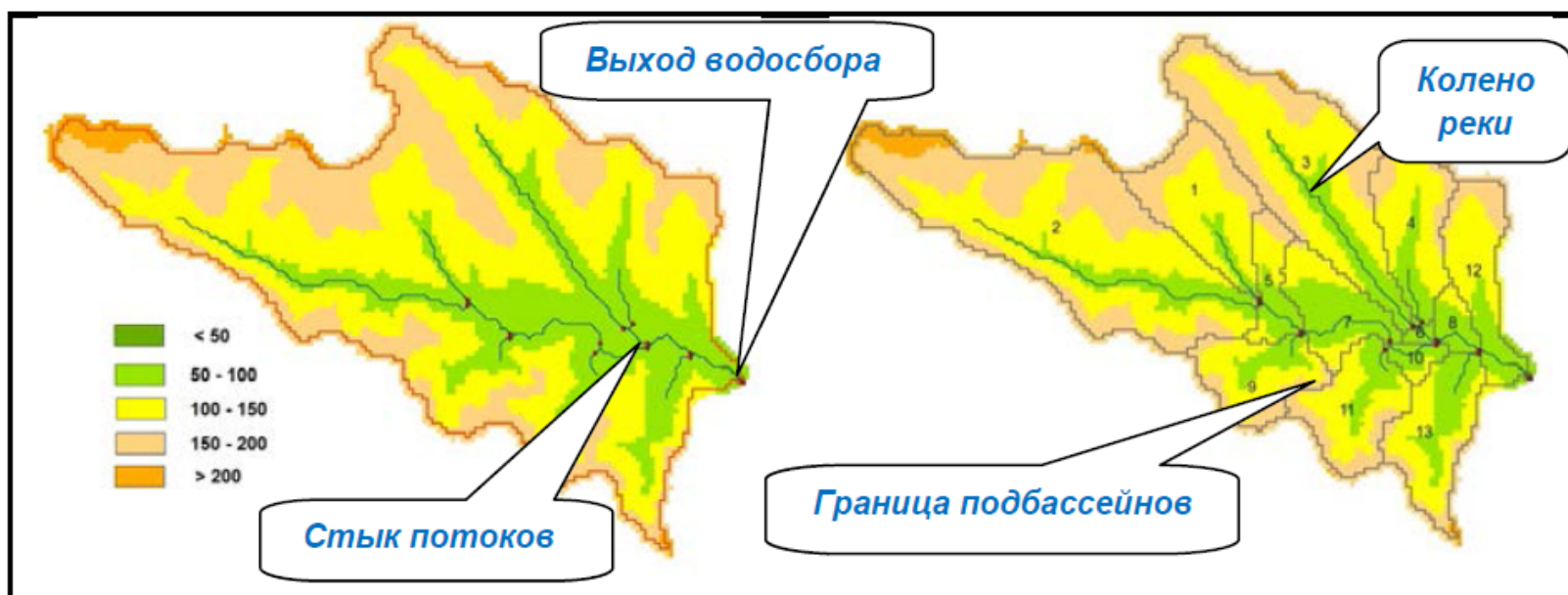
Сценарии выбросов

— RCP2.6; — RCP4.5; — RCP8.5

Гидрологическое моделирование стока

Оценка потенциального поверхностного стока с водосбора малых рек успешно реализуется в модели **SWAT** (*Soil and Water Assessment Tool*), разработанной в США для оценки состояния почв и водных ресурсов речного бассейна в широком диапазоне условий окружающей среды. *Тестирование* модели выполнено на верхней части водосбора реки – от истоков до гидрологического поста.

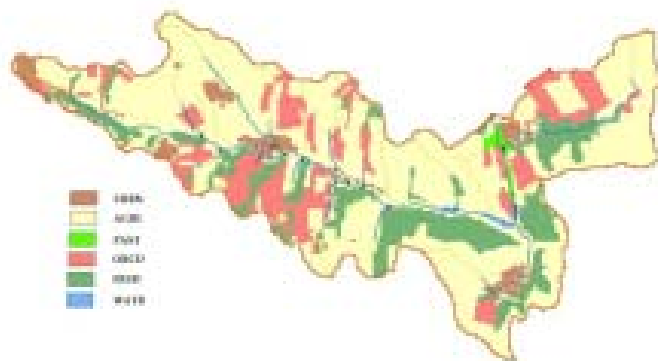
Водосбор верховья р. Балцата и выходы подбассейнов, определяемые как точки соединения потоков, наложенные на ЦМР (слева) и выделенные суббассейны (справа)



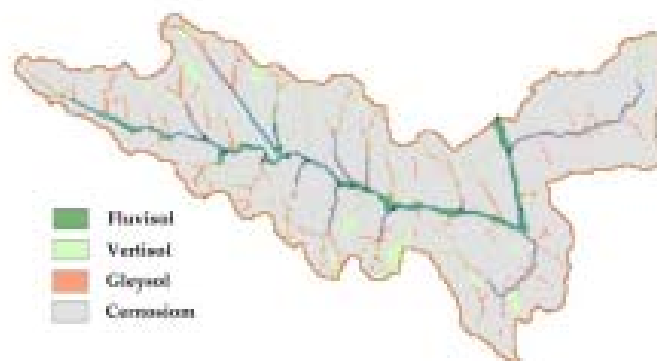
Соотношение наблюдаемого стока в верховье Балцаты с его моделируемым поступлением в основное русло

Год	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2006	–	0,129	2,298	0,154	0,139	0,278	0,207	0,019	0,027	0,112	0,174	0,035	0,086
2007	–	0,203	2,727	0,235	0,151	0,312	0,142	0,010	0,023	0,137	0,248	0,470	0,094
2008	–	0,128	1,475	0,153	0,129	0,247	0,201	0,012	0,022	0,108	0,218	0,325	0,075
2009	–	0,143	2,766	0,230	0,151	0,337	0,265	0,013	0,023	0,120	0,248	0,429	0,084
2010	–	0,240	1,180	0,157	0,111	0,242	0,144	0,014	0,021	0,105	0,165	0,327	0,079

Тематические слои для оценки водных ресурсов бассейна р. Балцата



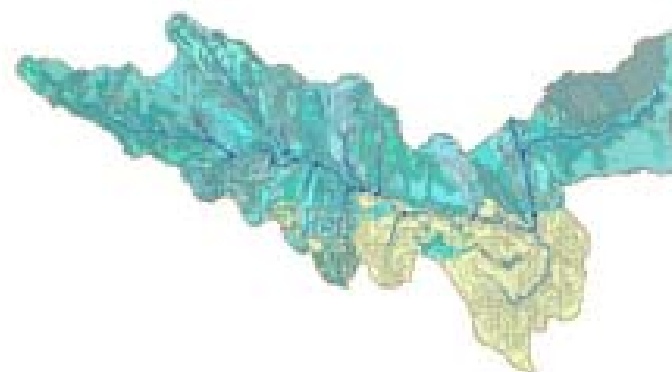
Землепользование



Почвы

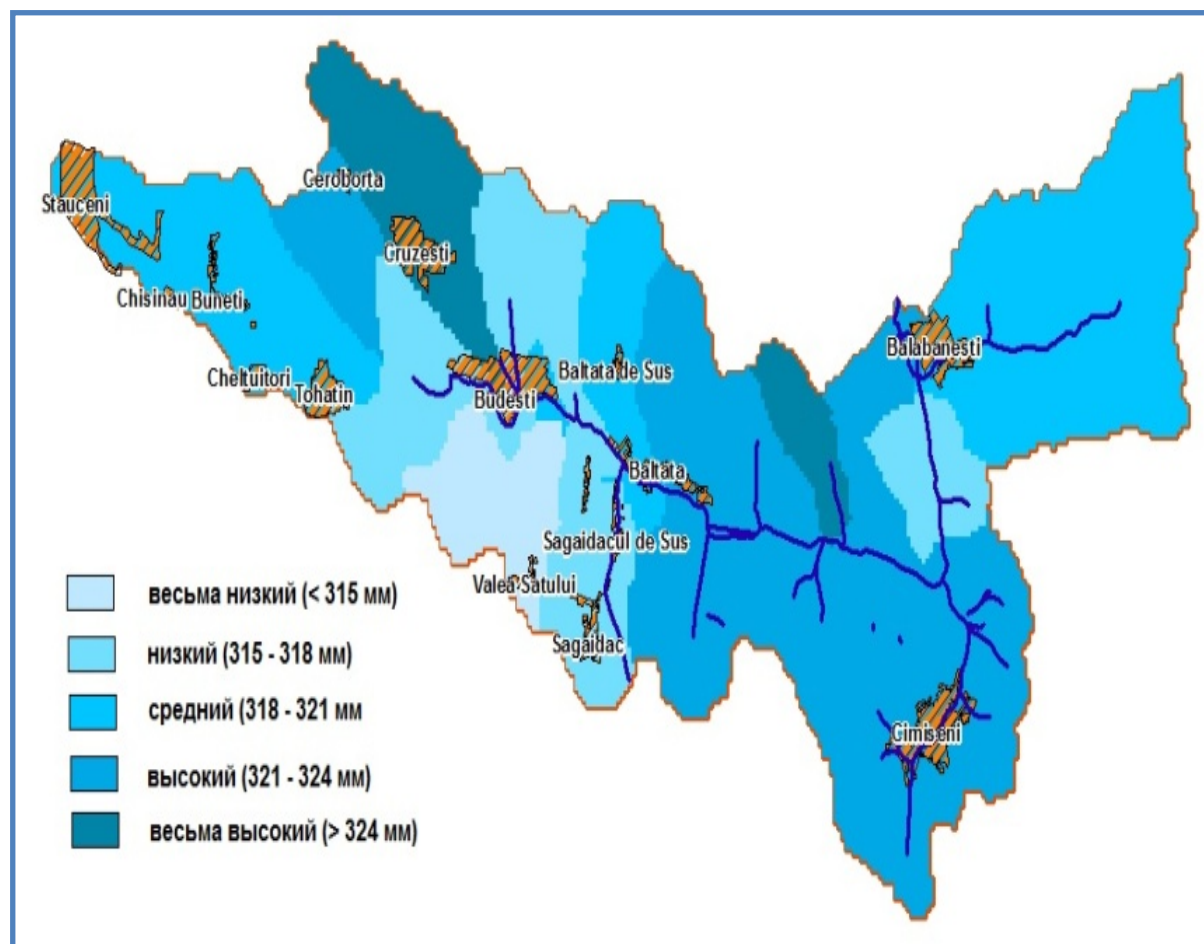


Уклоны местности, градусы



Совмещенный слой

Пространственное распределение годового стока с водосбора р. Балцата в 1981-2010 гг.



Пруды в основном русле р. Балцата



Пруд в 2 км юго-восточнее с. Балцата



Пруд в 1,3 км северо-западнее с. Чимишень



Пруд в 2 км южнее с. Бэлэбэнешь

Среднемесячный моделируемый сток в водосборе р. Балцата и накопление воды в искусственных прудах в 1981-2010 гг.

Пруды	Месяц												Сток	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	мм	куб. км
с. Балцата	0,05	2,1	3,7	1,5	0,09	3,6	9,1	9,6	5,8	3,2	6,2	0,0	44,94	0,004349
с. Балцата	0,09	4,4	7,5	2,1	1,6	6,5	17,8	17,7	11,7	5,7	12,6	0,2	87,89	0,009341
с. Чиммшенъ	0,14	6,5	11,2	3,6	2,6	10,1	26,7	27,3	17,5	8,9	18,8	0,2	133,54	0,017197
с. Балабанешти	0,02	1,4	2,1	0,7	0,06	1,6	5,6	5,1	3,9	2,6	4,1	0,0	27,18	0,000393
Сток в пруды	0,3	14,4	24,5	7,9	4,35	21,8	59,2	59,7	38,9	20,4	41,7	0,4	293,55	0,03128
Водосбор	0,4	15,1	27,4	8,9	4,6	23,1	62,2	63,0	40,4	21,6	44,5	0,5	311,8	0,047986

Суммарно в течение года в пруды поступает порядка 0,031 куб. км воды, или **65 %** общего стока водосбора реки (0,048 куб. км).

Проекции годового стока в пруды в бассейне реки Балцата в абсолютном выражении (Abs, мм) и его относительное изменение (%) по сравнению с базовыми значениями 1981-2010 гг.

Месяц	1981-2010	Временные горизонты, годы											
		2021-2050						2071-2100					
		Репрезентативные пути концентрации (RCPs)											
		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
		Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
с. Балцата	44,94	-4,6	-10,3	3,8	8,5	3,3	7,4	-11,4	-25,4	-3,8	-8,5	-9,0	-20,0
с. Балцата	87,89	-9,1	-10,3	7,5	8,5	6,5	7,4	-22,3	-25,4	-7,5	-8,5	-17,6	-20,0
с. Чиминень	133,54	-13,8	-10,3	11,4	8,5	9,9	7,4	-33,9	-25,4	-11,5	-8,5	-26,7	-20,0
с. Балабанешть	27,18	-2,8	-10,3	2,3	8,5	2,0	7,4	-6,9	-25,4	-2,3	-8,5	-5,4	-20,0
Сток в пруды	293,55	-30,2	-10,3	24,9	8,5	21,7	7,4	-74,6	-25,4	-24,9	-8,5	-58,7	-20,0

Вывод: Ожидаемое изменение климата может привести к изменению поверхностного стока от 10%-го снижения до 7-8%-го роста в первой половине нынешнего столетия и до 20-25%-го снижения – к концу столетия.

Вывод: Основные угрозы изменения климата для малых рек

1. *Интенсификация уже существующих проблем, в первую очередь, снижение наличия и ухудшение качества воды*
2. *Изменение фундаментальных характеристик стока, которое может кардинально изменить экологические и гидрологические характеристики воды*
3. *Сдвиг от нынешней роли изменения климата как “интенсификатора” изменений в водных ресурсах к «драйверу» этих изменений, с потенциалом воздействий, сравнимых с наихудшими из предыдущих антропогенных интервенций*
4. *Усиление формирования **рисков**:*
 - **«Прямого воздействия»**, например, наводнения и засухи
 - **«Косвенного воздействия»**, например, изменения в водном цикле, вызывающие деградацию окружающей среды, с негативными воздействиями для социальных и природных систем.

***Спасибо
за внимание!***