

УДК 551.5:556.3

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННОГО СТОКА РЕК МЕЖДУРЕЧЬЯ КУБАНИ И ДОНА

© 2014 г. О.Н. Суслов, Л.П. Ярмак, А.В. Давыдов

*Научно-исследовательский институт прикладной и экспериментальной экологии
Кубанского государственного аграрного университета, г. Краснодар*

Ключевые слова: атмосферные осадки, испарение, речной сток, подземные воды, ионный сток.



О.Н. Суслов



Л.П. Ярмак



А.В. Давыдов

На основе анализа климатических и гидрогеологических факторов, сложившихся в реках бассейна Азовского моря междуречья Кубани и Дона, установлена существенная роль химического состава подземных вод и испарения с водной поверхности в формировании ионного стока рек.

Высокая минерализация воды в реках Восточного Приазовья не позволяет использовать их для орошения сельскохозяйственных культур в условиях недостаточной водообеспеченности. Многочисленные пруды и водохранилища, построенные в 1960-е годы в руслах рек для целей орошения, не используются в связи с опасностью вторичного засоления черноземов. Для снижения минерализации речных вод и увеличения водности разрабатывали водохозяйственные проекты по переброске стока рек Кубани и Дона в степные реки. Тем не менее до настоящего времени недостаточно исследован вопрос формирования ионного стока степных рек, являющийся основой для разработки водохозяйственных мероприятий по снижению минерализации поверхностных вод.

Водное хозяйство России № 1, 2014

Водное хозяйство России

На территории Азово-Кубанской равнины климат умеренно-континентальный, среднегодовое количество осадков 640 мм, сумма положительных температур выше 10 °С составляет 3400–3600 °С, испаряемость от 800 до 1000 мм в год.

Равнина пересекается долинами степных рек (Ея, Челбас, Бейсуг, Кирпили, Понура и др.) в направлении с юго-востока на северо-запад (рис. 1). Речные бассейны представляют комплекс элювиальных, супераквальных (надводных) и субаквальных элементов ландшафта, в результате миграции химических элементов через которые формируется геохимический ландшафт.

Характер питания рассматриваемых степных рек является смешанным: талые снеговые, дождевые, грунтовые и подземные воды. Максимальный сток наблюдается в весенний период, минимальный – в летне-осенний. По условиям влагообеспеченности бассейны рек Ея (с притоками Куго-Ея и Сосыка), Ясени, Албаши и Калалы относятся к засушливому району с коэффициентом увлажнения (КУ) менее 0,25 [1]. Территории бассейнов остальных степных рек расположены в районе недостаточного увлажнения: КУ от 0,25 до 0,30.

Проводимые в последние годы исследования гидрохимического режима степных рек не выявили существенного антропогенного влияния на качество поверхностных вод [2]. К основным факторам формирования ионного стока степных рек данной зоны следует отнести климатические, гидрогеологические, почвенные условия территории и морфометрические характеристики бассейнов рек.

Засушливые климатические условия территории, на которой сумма годовых осадков существенно меньше величины испаряемости, позволяют предположить, что на формирование химического состава поверхностных вод Азово-Кубанской равнины значительное влияние оказывают процесс испарения воды с поверхности водоемов, ионный состав атмосферных осадков и приток минерализованных подземных вод.

Замедленный водообмен в степных реках, представляющих каскад прудов и водохранилищ, способствует повышению минерализации воды в результате «испарительного концентрирования» [3], что влечет за собой выпадение солей в осадок, усиление ионного обмена в придонных слоях водоемов и пр.

В последнее десятилетие в научной литературе уделяется внимание процессам формирования ионного стока в реках с учетом трансформации ионного состава атмосферных осадков по пути их миграции по поверхности водосбора к водным объектам [3–7].

Ближайшей к территории Азово-Кубанской равнины станцией по исследованию ионного состава атмосферных осадков является фоновая станция

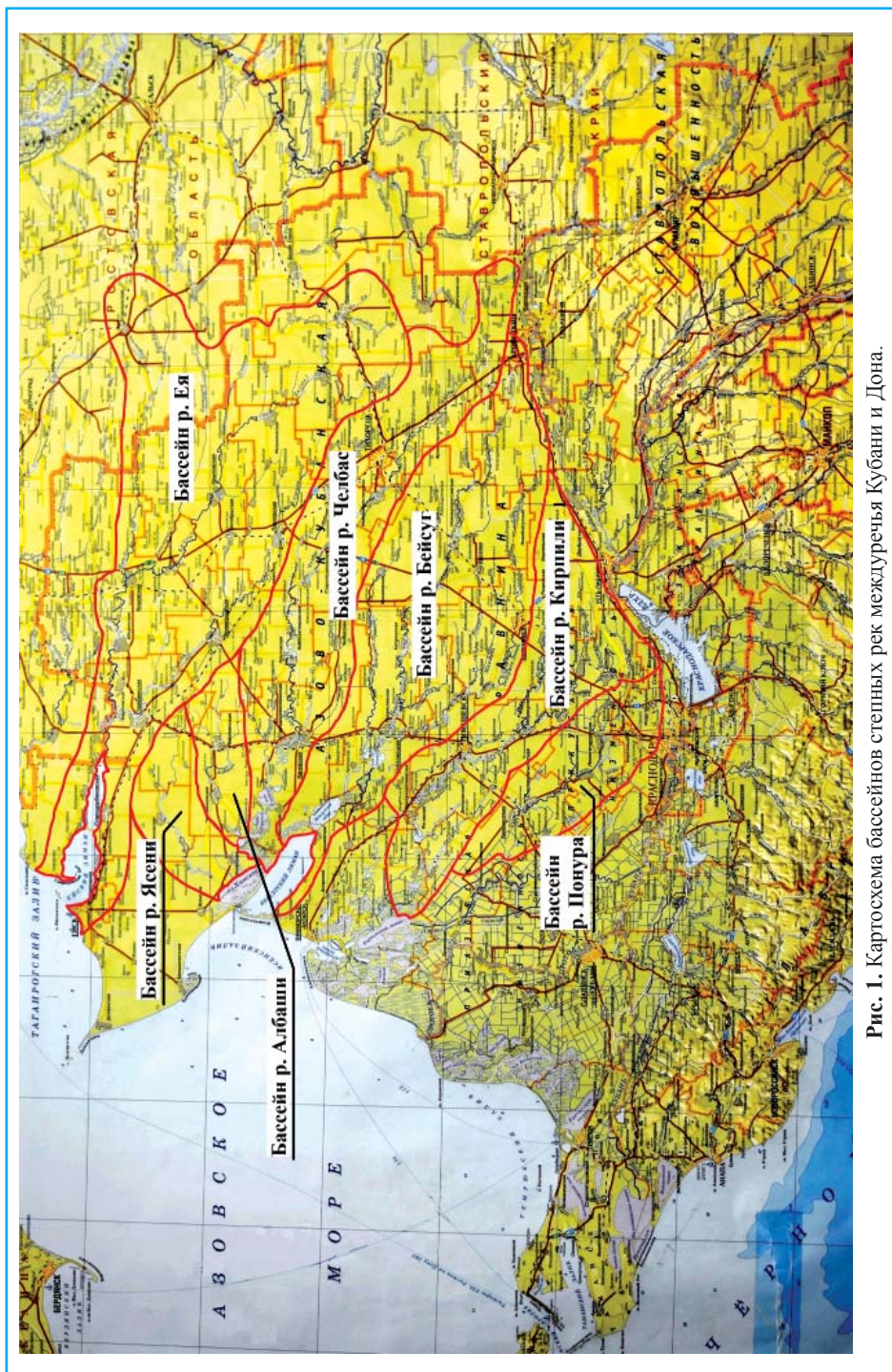


Рис. 1. Картохема бассейнов степных рек междуречья Кубани и Дона.

«Кавказский биосферный заповедник», расположенная в горной зоне. В степной зоне наблюдения за концентрацией водородных ионов (рН) ведутся на метеостанции «Круглик» (г. Краснодар). В данной статье проанализированы имеющиеся материалы наблюдений, проведено их сравнение с полученной авторами годовой динамикой ионного состава выпадающих в степной зоне атмосферных осадков.

Средняя годовая величина рН атмосферных осадков в регионе за последние три года находится в пределах 5,6–6,0, что не отличается от значений, установленных в начале 1960-х годов [8]. В течение года рН атмосферных осадков колеблется в пределах 5,3–6,7 (нейтральная кислотность) с экстремальным минимальным значением 4,59 (слабокислая, декабрь 2011 г.) и максимальным 7,4 (слабощелочная, март 2013 г.).

Химические примеси в выпадающих осадках распределяются следующим образом: анионы $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$; катионы $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$, что характерно для данной территории (табл. 1).

Общая минерализация (Σ) в осадках, поступающих на поверхность бассейнов рек, в два и более раза превышает их концентрацию в осадках фоновой территории. Это можно объяснить только тем, что предгорья Кавказа (фоновая территория) не подвержены запыленности и загазованности, характеризующейся содержанием гидрокарбонатных и сульфатных ионов. Отмечаются значительные превышения концентраций ионов аммония, особенно в теплый период, что обуславливается его попаданием в атмосферу с сельскохозяйственных угодий. Вместе гидрокарбонаты и

Таблица 1. Среднегодовое содержание главных ионов в составе атмосферных осадков на территории Азово-Кубанской равнины, мг/дм³

Пункт	рН	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Общая минерализация
Степная зона	5,7	2,03	0,61	2,59	0,51	1,60	7,91	1,67	2,67	1,91	21,54
Теплый период (IV–X)	5,4	1,58	0,77	2,49	0,56	2,02	7,75	0,75	2,57	1,90	20,43
Холодный период (XI–III)	6,0	2,48	0,43	2,69	0,45	1,25	8,04	2,60	2,78	1,91	22,67
Фон (Кавказский биосферный заповедник)	6,0–6,5	0,3–0,6	0,2–0,3	0,6–1,7	0,2–0,5	0,2–0,4	2,0–4,5	0,5–0,8	1–2	1,0–1,3	5–15
1960-е гг.	5–6	1–3	0,6–0,8	3–4	0,4	0,4–0,7	8–10	2–3	3–4	–	10–25

сульфаты составляют половину всех ионов. На катионную часть осадков приходится около 30 % суммы ионов с преобладанием катионов кальция.

В холодный период года наблюдается увеличение содержания ионов хлора и натрия, в теплый период – ионов калия и аммиака. Соотношения молярных концентраций эквивалентов натрия и хлора на фоновом участке, расположенном вблизи Черного моря, равны 1, что близко к значению этого соотношения в морской соли 0,86 [9]. На территории бассейнов степных рек эта величина составляет 1,5 в зимний и 3,3 в теплый периоды, что указывает на незначительное или полное отсутствие влияния морского аэрозоля на формирование химического состава осадков на исследуемой территории. Минерализация осадков за холодный и теплый периоды отличается незначительно и находится в пределах 20–23 мг/дм³.

При сравнении состава атмосферных осадков 60-летней давности и настоящего периода не отмечается существенных различий, из чего можно заключить, что техногенная составляющая за прошедшие годы не изменилась или она вообще не играет существенной роли на изучаемой территории, которая на 90 % используется для выращивания сельскохозяйственных культур.

Диагностическая оценка влияния загрязненности атмосферных осадков на природную среду, проведенная по предложенным Гидрометслужбой критериям [10], показывает, что осредненные оценочные баллы концентраций химических примесей в осадках за год, теплый и холодный периоды менее 1, что соответствует зоне экологической нормы (табл. 2).

Однако к зоне риска относятся повышенные концентрации кислотообразующих ионов (нитратного и аммонийного азота, сульфатов), при этом концентрации NH_4^+ постоянно превышают ПДК, установленные для рыбохозяйственных водоемов, в 3–4 раза. При исследовании содержания ионов тяжелых металлов в выпадающих осадках степной зоны Краснодарского края также наблюдается повышенная концентрация ионов меди, железа, цинка и марганца, в отдельных случаях составляющая 3–8 ПДК_{рх} (табл. 3). Максимальные среднегодовые концентрации, превышающие ПДК в 6 и 4 раза, отмечаются по ионам меди и марганца соответственно.

Территория Азово-Кубанской равнины в отдельные периоды испытывает воздействие трансграничного переноса воздушных масс и осадков. Аномальные по загрязнению осадки наблюдались 16 марта 2013 г. при выходе на территорию Краснодарского края со стороны Черного моря южного циклона, принесшего воздушные массы из стран Арабского полуострова. В первоначальном слое выпавших осадков (около 2 мм) содержание ионов было превышено по сравнению с обычными осадками: по меди в 8,8, марганцу в 3,2, железу и цинку в 1,8 раза.

Таблица 2. Качественная оценка состояния окружающей природной среды по данным химического состава атмосферных осадков

Показатель	Единицы измерения	Экологическая норма	Среднегодовая		Теплый период		Холодный период	
			концентрация	балл	концентрация	балл	концентрация	балл
Общая минерализация	мг/л	≤3	21,0	1,3	20,9	1,2	21,2	1,4
Удельная электропроводность образца	мкСм/см	≤5	34,29	1,1	41,48	1,4	27,10	0,9
pH	единицы pH	5,5–6,5	5,7	0	5,4	0,1	6,0	0
Cd	мг/л	0,001	0,0006	0	0,0002	0	0,001	0
Pb	мг/л	0,01	0,004	0	0,002	0	0,007	0
Zn	мг/л	≤0,1	0,02	0	0,03	0	0,015	0
SO ₄ ²⁻	мг/л	≤1,0	2,7	0,8	2,6	0,7	2,8	0,9
NO ₃ ⁻	мг/л	≤0,1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
NH ₄ ⁺	мг/л	≤0,1	1,6	2,6	2,0	3	1,2	2,2
Средний балл				0,9		0,9		0,8

Таблица 3. Среднегодовые концентрации ионов тяжелых металлов в атмосферных осадках Азово-Кубанской равнины, мг/дм³

Пункт	Cu (0,001)*	Zn (0,01)*	Pb (0,006)*	Cd (0,005)*	Ni ²⁺ (0,01)*	Fe (0,1)*	Mn (0,01)*
Степная зона	0,0056	0,023	0,004	0,0006	0,005	0,13	0,044
Теплый период (IV–X)	0,0045	0,033	0,002	0,0002	0,002	0,11	0,024
Холодный период (XI–III)	0,0067	0,015	0,007	0,0010	0,008	0,15	0,064
Фон (Кавказский биосферный заповедник)	0,0020	–	0,002	0,002	–	–	–

Примечание: * ПДК_{рх}.

Осадки были насыщены взвешенными веществами (глинистые частицы) 489,2 мг/дм³, гидрокарбонаты достигли концентрации 84,2 мг/дм³ (в 10,6 раза выше среднего уровня), кальций 30 мг/дм³ (в 11,6 раза), магний 2,9 мг/дм³ (в 5,7 раза), сульфаты 23 мг/дм³ (в 8,6 раза), хлориды 5,7 мг/дм³ (в 3,4 раза), калий 2,9 мг/дм³ (в 4,7 раза), натрий 10,7 мг/дм³ (в 5,3 раза), нитраты 8,0 мг/дм³ (в 4,2 раза выше среднего уровня). Отмечались самые высокие значения за период наблюдений удельной электропроводности: 199 мкСм/см, при этом pH повысился до 7,4, минерализация осадков превысила 160 мг/дм³. Наблюдаемый дождь по химическому составу и концентрации веществ не отличался от речных вод.

Привнос химических элементов с атмосферными осадками на территорию речных бассейнов зависит от их концентрации и количества. При среднем многолетнем количестве осадков 640 мм минимальное количество годовых осадков составляет 471 мм, максимальное 933 мм. За многолетний период наблюдений количество выпадающих осадков в теплый период на 100 мм превышает количество осадков зимнего периода 270 мм. В ходе исследований усредненная величина осадков по территории соответствовала многолетней норме, в то же время речной сток находился на уровне 75 % обеспеченности.

Суммарная годовая масса влажных выпадений химических элементов на территорию бассейнов степных рек составляет 13,6 т/км². В теплый период, когда происходит процесс испарения, выпадает 7,8 т/км², что на 2 т превышает массу выпадений веществ в зимний период. Масса влажных выпадений входит в годовые колебания (2005–2011 гг.), фиксируемые на фоновой станции «Кавказский биосферный заповедник», где при меньшей минерализации осадков их количество в два и более раза превышает осадки над степной зоной.

В течение года на водную и земную поверхность поступает около 2 т/км² (20 кг/га) азотистых соединений (рис. 2), из них 70 % выпадает в теплый период, что благоприятно для развития водной и сухолюбивой растительности. Масса азотистых соединений, поступающих на поверхность водоемов с атмосферными осадками (22 кг/га), на порядок выше их привноса с окружающих сельскохозяйственных полей (не более 2 кг на 1 га площади водоемов). Значительная роль атмосферных осадков в привносе NH_4^+ в водные объекты, где отсутствует прямое техногенное воздействие, подтверждается и другими исследованиями [11].

Большинство тяжелых металлов, поступающих на поверхность бассейнов рек с осадками, фиксируются почвенным поглощающим комплексом, микроорганизмами и растениями. Из тяжелых металлов, концентрации которых в осадках превышают ПДК_{рх}, в почву попадает около 80 кг/км² (0,8 кг/га) железа, 34 кг/км² марганца, 15 кг/км² цинка, 3,5 кг/км² меди.

Увеличение концентраций тяжелых металлов в почвах Краснодарского края в период выпадения осадков отмечается в работе Е.А. Ляшенко [13]. При отсутствии сведений о концентрации тяжелых металлов в атмосферных осадках, в частности ионов меди, это явление объясняется мобилизацией ионов при изменении водно-воздушного режима почвы, что, видимо, нуждается в уточнении.

Плоский рельеф, высокие влагоемкость, водопроницаемость почв и величина эвапотранспирации, соизмеримая с количеством выпадающих осадков, а также слабый эрозионный врез речной сети создают неблагоприятные условия для формирования поверхностного и грунтового стока в реки.

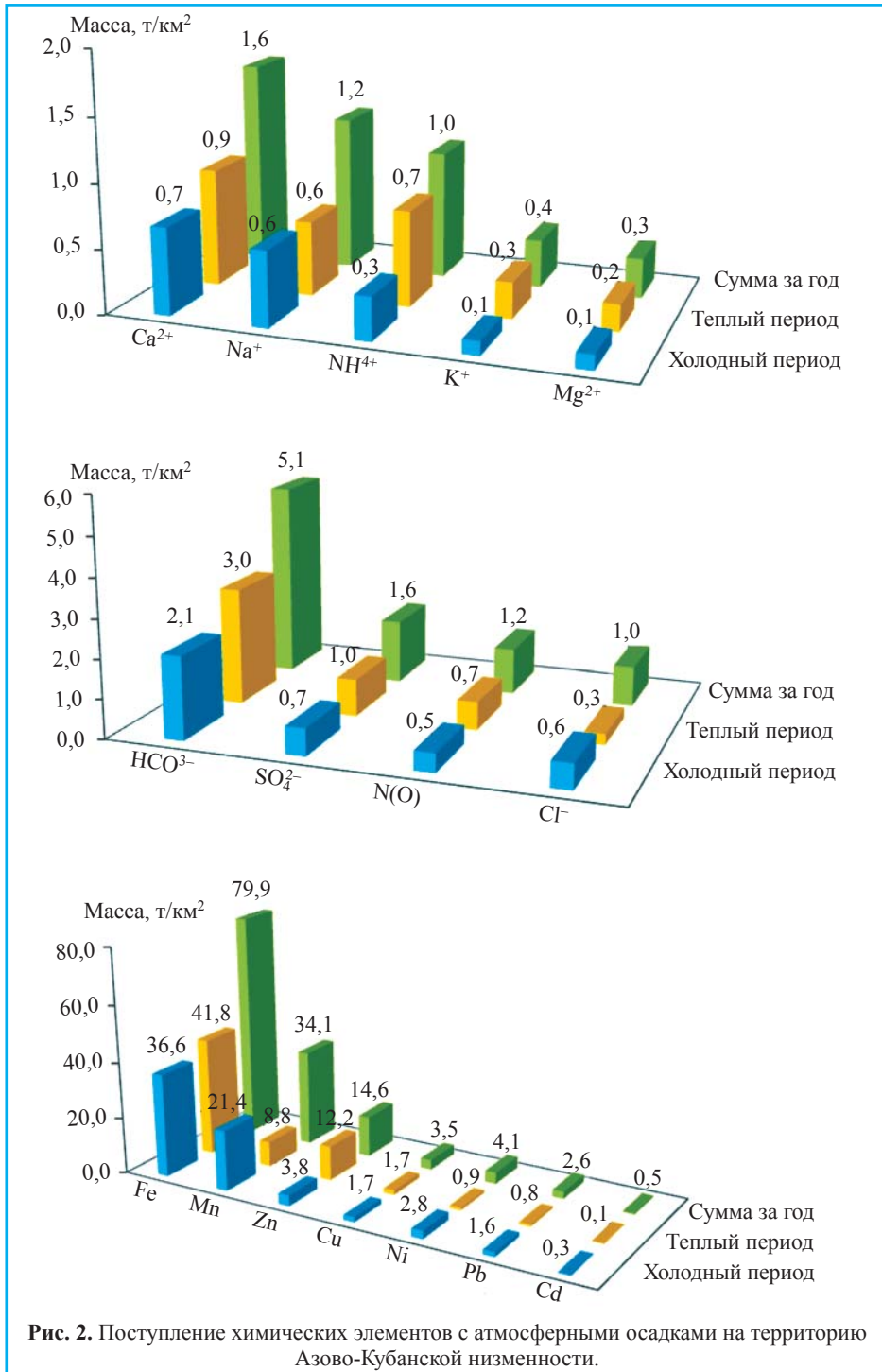


Рис. 2. Поступление химических элементов с атмосферными осадками на территорию Азово-Кубанской низменности.

Анализ величин коэффициента стока, водного режима рек Азово-Кубанской равнины, характера залегания, условий движения и особенностей уровня режима грунтовых вод и геоморфологических особенностей территории позволяет установить, что поверхностное и грунтовое питание степных рек сосредоточено на локально ограниченных элементах рельефа, аккумулирующих часть местного стока. Как указывал О.А. Алёкин [14], «водоразделы данной территории лишены сколько-нибудь значительных запасов грунтовых вод, и только в понижениях речных долин в балках и ложбинах грунтовые воды располагаются на глубине 2–3 м». К ним можно отнести: склоны долин основных русел степных рек на расстоянии около 600 м от уреза воды; склоны долин притоков на расстоянии около 400 м, включающих балочную сеть [15]. Балки с неоформленным руслом более высоких порядков нередко в тальвеге слабо заболочены и покрыты полосками влаголюбивой растительности (осоки, тростника и др.). В период интенсивных паводков и при снеготаянии в долинах балок скапливаются резервные объемы воды в виде подрусловых потоков, имеющих характер верховодки. Оптимальные условия для питания грунтовых вод создаются в тех балках или их частях, в пределах которых мощность зоны аэрации не превышает 4–5 м. Наиболее благоприятны в этом отношении верховья балок, где покровные отложения сложены легкими разностями. Лучшие фильтрационные свойства грунтов и более высокие гидравлические уклоны потока обуславливают активный водообмен и формирование маломинерализованных вод. Так, в подрусловых потоках мелких балок формируются пресные воды с минерализацией от 0,3 до 1,0 г/дм³ гидрокарбонатно-сульфатного состава. В северной зоне, где выпадает на 20 % осадков меньше, формируются более минерализованные воды (до 2 г/дм³) сульфатно-гидрокарбонатного и сульфатного составов.

Почвенный покров в понижениях рельефа в основном представлен лугово-черноземными незасоленными и несолонцовыми почвами, характеризующимися выщелоченностью от карбонатов по профилю, наличием в профиле почвы прожилок ржавчины и марганцево-железистых конкреций. В слое почвы от 0,6 до 1,2 м наблюдается уплотненный горизонт с низкой водопроницаемостью, на котором и формируется временный грунтовый поток. Наименьшая влагоемкость почв в корнеобитаемом слое (1,5 м) составляет 270 мм (полугодовая норма осадков). Эвапотранспирация сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территориях речных бассейнов, колеблется от 500 (подсолнечник) до 300 мм (озимая пшеница) в средний по водности год. В годы повышенной влажности эвапотранспирация повышается на 25–30 %.

В данной работе не рассматриваются процессы привноса химических элементов со склоновым стоком, т. к. ландшафт территории, почвенные и гидрогеологические условия позволяют считать, что он незначителен.

Действующая водосборная площадь степных рек, на которой происходит формирование поверхностного и грунтового стоков, в 5–10 раз меньше площади бассейнов рек. Площадь водного зеркала степных рек сопоставима с действующей водосборной площадью и составляет 10–20 %.

Согласно данным Гидрометслужбы [5], испаряемость в степной зоне Краснодарского края отмечается в диапазоне 750–1000 мм в период с апреля по октябрь. С учетом средних годовых колебаний уровня воды в зарегулированных реках около 0,7 м объемы испаряющейся воды с водной поверхности вполне соизмеримы со стоком этих рек, особенно в годы пониженной водности, которые наблюдаются в последнее десятилетие (табл. 4).

Потери на испарение с водной поверхности превышают величину годового стока р. Ея в 1,4 раза, для остальных рек испарение составляет 40–80 % от величины стока. Столь высокие значения потерь при наличии стока в реках в межень период подтверждают минимальную роль атмосферных осадков в формировании стока степных рек в теплый период, особенно для рек северной зоны Азово-Кубанской равнины. В этот период основным источником питания рек является приток подземных вод, который частично компенсирует потери воды на испарение.

Значительные непроизводительные потери воды на испарение обусловлены малыми глубинами водоемов, в прудах она не превышает в среднем 0,9, в водохранилищах 2,0 м, что способствует значительному прогреванию слоя воды и созданию дефицита влажности воздуха над водной поверхностью. Малые глубины водоемов вызваны заилием русел. В настоящее время на дне водоемов накопился слой наносов толщиной от 1 до 3 м.

Испарение способствует повышению минерализации воды в реках. В результате превышения величины испаряемости над годовой суммой осадков концентрация ионов атмосферных осадков может увеличиваться более чем в два раза (до 50–60 мг/дм³), при этом концентрации ионов

Таблица 4. Испарение с водной поверхности рек бассейна Азовского моря

Река	Объем стока, $P_{75\%}$, млн м ³	Общая/действующая площадь бассейна, км ²	Водная поверхность в теплый период, км ²	Испарение, млн м ³ /год	Подземный приток с учетом потерь на испарение, млн м ³ /год
Ея	66,2	8650/870	117	94	80
Албаши	19,6	962/96	20	16	19
Челбас	78,6	3950/657	69	55	47
Бейсуг	163,0	5840/625	78	62	53
Кирпили	85,2	2760/577	62	50	43
Понура	32,2	1075/216	21	17	15

аммония, тяжелых металлов в речной воде должны существенно превышать ПДК_{рх}. В действительности этого не наблюдается, т. к. многие химические элементы подвергаются процессам адсорбции, используются живыми организмами. При этом многолетних накоплений химических элементов в водах степных рек не происходит, т. к. полный водообмен в прудах и водохранилищах осуществляется за период от 9 (р. Кирпили) до 16 месяцев (реки Челбас, Бейсуг, Ея).

При продвижении воды от истока к устью минерализация воды повышается на 7–20 %, за исключением воды в р. Ея и ее притоке р. Сосыке, в которых минерализация воды увеличивается в 2–4 раза и достигает концентрации в устьевой зоне 5–8 г/дм³. Речные воды рек Понура и Кирпили относятся к пресным (минерализация <1 г/дм³) гидрокарбонатного класса, в реках Челбас, Бейсуг и Ея воды слабосолоноватые (минерализация 2–8 г/дм³), сульфатного класса.

В речной воде степных рек превышено ПДК_{рх} по содержанию ионов марганца, магния, сульфатов. Концентрация сульфатов в р. Ея превышает ПДК_{рх} в 40 раз. Наблюдается тенденция увеличения общей минерализации (Σ), сульфатов, хлоридов, магния и марганца в водах рек междуречья Кубани и Дона от южных к северным бассейнам рек (от р. Понура к р. Ея, рис. 3).



Солевой баланс рек невозможно оценить без оценки привноса ионов с подземным питанием. В развитии озерно-лиманной системы и речной сети Азово-Кубанской равнины определяющую роль сыграли субширотные структуры Скифской плиты, к тектоническим разломам и понижениям которых приурочена речная сеть. Наличие тектонических разломов и флексур способствует выходу на поверхность подземных вод Азово-Кубанского артезианского бассейна (АКАБ).

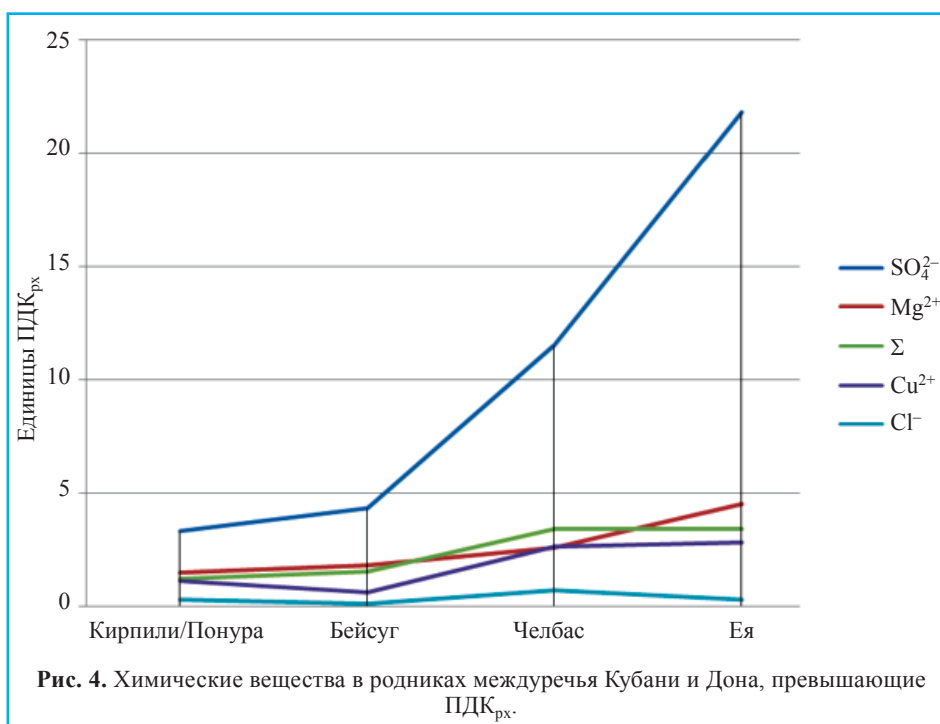
В бассейне выделяются водоносные комплексы четвертичных и неогеновых отложений. В бассейнах рек междуречья Кубани и Дона расположены пестрые по химическому составу водоносные комплексы неогеновых отложений с минерализацией от 0,5 до 5 г/дм³. Гидрокарбонатно-кальциевый состав характерен для южной части, гидрокарбонатно-сульфатный – для центральной, гидрокарбонатно-хлоридный и даже хлоридный натриевый – для северной.

Подземные воды, вскрываемые на глубинах от 65–150 м в южной части и 300–1200 м на остальной территории, преимущественно напорные, пьезометрический уровень устанавливается на глубинах от 3–60 м ниже, до 2–30 м выше уровня земли [16].

Региональная область питания всех комплексов и горизонтов АКАБ – северный склон Большого Кавказа, правобережье Нижнего Дона; области разгрузки – Азовское море, нижние течения рек Кубань, Дон, Маныч и речная сеть степных рек Азово-Кубанской равнины. Подземные воды разгружаются в руслах рек, в долинах выклиниваются на поверхность в виде родников.

При расчете поступающих в реки с подземным стоком массы солей должен учитываться процесс испарения с водоемов, в которые осуществляется приток подземных вод. То есть в теплый период фактический приток подземных вод в русла рек всегда больше фиксируемых расходов воды на гидрологических постах. Но при этом масса поступивших в реки солей практически не изменяется. Таким образом, при расчете привноса солей с подземными водами необходимо речной сток в теплый период, формирующийся за счет подземного притока, повышать на величину испарения. Учитывая гидрологический режим зарегулированных степных рек, можно принять, что снижение уровня в водоемах компенсируется подземным притоком на 50 % суммарного объема испарения (см. табл. 4).

Немногочисленные исследования химического состава воды родников, находящихся на особо охраняемых природных территориях бассейнов рек, показывают, что в бассейнах рек Понура, Кирпили, Бейсуг воды родников пресные, с минерализацией до 1,5 г/дм³. В бассейнах рек Челбас и Ея минерализация увеличивается до 3,2 г/дм³ (рис. 4). Воды родников содержат повышенное содержание магния, сульфатов, натрия и хлора (к сожалению, в имеющихся у авторов материалах нет данных о содержании ионов меди



и марганца, которые присутствуют в повышенном количестве в реках). Однако данные химических анализов питьевых подземных вод из отдельных водозаборных скважин на месторождениях АКАБ свидетельствуют о содержании ионов марганца до 30 ПДК и железа до 7 ПДК [17].

Наиболее полно обследованы родники «Двойники», «Заповедный», «Колхоз им. Кирова» в бассейне р. Ея, поэтому для данной реки сделана попытка составить солевой баланс. Масса химических веществ, поступающих в реки с формирующимся на действующей площади водосбора грунтовым стоком в зимне-весенний период (в другое время он отсутствует), рассчитана по объему весеннего стока (февраль–май) без учета притока подземных вод при величине минерализации 1,5 г/дм³ (табл. 5).

При всех допущениях невязка баланса составила 14 %. При этом доля влажных выпадений в общей массе привносимых элементов не превышает 0,5 %, они являются основным источником поступления в реки ионов тяжелых металлов и азотистых соединений. Ионы железа, меди, цинка – важнейшие микроэлементы, участвующие в процессах питания и фотосинтеза для высшей водной растительности и гидробионтов, также они обладают способностью сорбироваться оксигидратом железа и осаждаться на дне водоемов [18], поэтому вынос данных элементов с ионным стоком рек меньше, чем привнос в речную систему.

Таблица 5. Солевой баланс рек междуречья Кубани и Дона (на примере р. Ея)

Источник поступления (выноса)	Масса, тыс. т							Масса, т				Масса, тыс. т
	Ca ²⁺	NH ⁴⁺	Mg ²⁺	HCO ³⁻	SO ₄ ²⁻	N(O)	Cl ⁻	Fe	Mn	Zn	Cu	
Атмосферные осадки	0,19	0,12	0,04	0,60	0,19	0,14	0,12	9,3	4,0	1,7	0,4	1,5
Подземные воды	20,3	0,02	14,4	16	174	4,5	6,0	1,1	–	–	–	246
Грунтовые воды	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	80
Сточные воды	–	–	–	–	0,15	–	0,05	–	–	–	–	2,5
Ионный сток рек	25,6	0,001	36,8	17,8	275	0,02	26,3	1,6	11,2	0,3	0,2	382
Баланс, (±Δ)	-5,1	0,14	-22,4	-1,2	-110	4,6	-20,1	8,9	–	–	–	-52

С ионным стоком рек вынос ионов марганца превышает их привнос, т. к. значительные количества марганца образуются в процессе отмирания и разложения гидробионтов, в особенности синезеленых и диатомовых водорослей, а также высших водных растений. Превышение выноса главных ионов с речного бассейна над привносом объясняется отсутствием сведений о качественном составе грунтовых и подземных вод, неучтенными поступлениями веществ с частицами почвы в период пыльных бурь, а также процессами, происходящими в экосистеме водоемов.

Антропогенная составляющая в солевом балансе р. Ея играет несущественную роль, т. к. при объеме сточных вод 2 млн м³ с массой химических веществ 2500 т (менее 1 % от всех поступлений) минерализация сбросной воды в 2–3 раза меньше, чем вода в приемных водоемах. Сточные воды в основном представлены хозяйственно-бытовыми стоками, образующимися после использования питьевых подземных вод (нерусловых), поэтому в целом отрицательного воздействия на экосистему водоемов р. Ея они не оказывают. Со сточными водами в реку привносятся в основном сульфаты 1500 т/год и хлориды 500 т/год.

Ежегодно с речным стоком степных рек в Азовское море поступает около 1 млн т химических элементов, что всего в 4 раза меньше, чем привносится р. Кубань, сток которой более чем в 20 раз превышает сток степных рек. С ионным стоком рек Ея и Бейсуг в море привносится более 60 % химических веществ, формирующихся в речной сети междуречья Кубани и Дона.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что основным фактором формирования ионного стока степных рек является привнос химических элементов с подземным притоком в русла рек. Это затрудняет выбор водохозяйственных мероприятий по снижению минерализации воды в степных реках, особенно в северной части междуречья Кубани и Дона.

Предлагаемые меры по снижению испарения с поверхности водоемов путем увеличения их глубины, ликвидации неиспользуемых водоемов, созданию более крупных водохранилищ, а также снижению площади зарастания водоемов с учетом рыбохозяйственного назначения до 25–35 % не позволят довести качество речных вод до нормативов, предъявляемых к оросительной воде.

Заключение

Использование метода солевого баланса при выявлении основных факторов, формирующих ионный сток рек междуречья Кубани и Дона, позволило установить, что гидрогеологический фактор является главенствующим. Выклинивающиеся в русла рек воды неогеновых водоносных комплексов с высокой минерализацией изначально создают повышенную минерализацию поверхностных вод (1–5 г/дм³), масса привносимых элементов превышает 60 % от ионного стока рек.

Выпадающие осадки приносят менее 0,5 %, при этом незначительное разбавление поверхностных вод происходит только в зимне-весенний период, когда отсутствует испарение с водной поверхности. С осадками в речные системы поступает значительное количество тяжелых металлов и азотистых соединений, которые используются в процессах питания и фотосинтеза высшими водными растениями и гидробионтами.

В результате испарения концентрация солей по мере движения воды от истока к устью повышается на 7–20 % за исключением р. Ея, в которой минерализация воды увеличивается более чем в 2 раза.

Работа с вышеизложенным материалом показала необходимость в дополнительных исследованиях гидрохимического режима грунтовых вод, выходов подземных вод (родников), формирующих ионный сток рек междуречья Кубани и Дона, с целью разработки оптимальных водохозяйственных мероприятий по снижению минерализации поверхностных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Краснодарского края. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 278 с.
2. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2010 году». Краснодар. 2011. 344 с.
3. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. СПб: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.
4. Будник С.В. Оценка взаимодействия гидрохимических и гидродинамических факторов склонового стока: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Воронеж. 2009. 49 с.
5. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.

6. Колоколова О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск. 2003. 21 с.
7. Потапова И.Ю. Роль атмосферных осадков в формировании химического состава поверхностных вод Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 4. С. 134–137.
8. Дроздова В.М., Петренчук О.П., Селзнёва Е.С., Свистов П.Ф. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Л.: Гидрометиздат, 1964. 176 с.
9. Василевич М.И. и др. Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны республики Коми // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 494–506.
10. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2011 г. Росгидромет. 2012. 256 с.
11. Газаев М.А., Атабиева Ф.А., Жинжакова Л.З., Газаев М.М. Пространственно-временная изменчивость показателей качества воды высокогорной реки Черек-Безенгийский // Водное хозяйство России. 2014. № 1. С. 23–32.
12. Ляшенко Е.А. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах геохимических ландшафтов Краснодарского края, автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону. 2009. 24 с.
13. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат, 1953. 295 с.
14. Суслов О.Н. Формирование стока рек бассейна Азовского моря междуречья Кубани и Дона // Вода и водные ресурсы: Системообразующие функции в природе и экономике: сб. материалов / отв. ред. В.Г. Пряжинская. Новочеркасск: ЮРГГУ (НПИ), 2012. С. 140–146.
15. Отчет о результатах работ по ведению государственного водного кадастра (ГВК-2) (подземные воды) на территории Краснодарского края за 1991–1995 гг. Т. II (граф. прил.), Краснодар. 1997. ТФИ по ЮФО № ГР 30-82-92/44.
16. О состоянии недр на территории Российской Федерации в 2009 г.: информ. бюл. М.: ООО Геоинформмарк, 2010. Вып. 33. 208 с.
17. Попов А.Н. Исследование эффективности биогеохимических барьеров на основе высшей водной растительности по отношению к соединениям меди, цинка, мышьяка, железа // Водное хозяйство России. 2009. № 6. С. 67–74.

Сведения об авторах:

Суслов Олег Николаевич, канд. техн. наук, заведующий отделом научных исследований и экологических программ, Научно-исследовательский институт прикладной и экспериментальной экологии, Кубанский государственный аграрный университет, 350000, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: nir@instecology.ru

Ярмач Леонид Петрович, д-р геогр. наук, проф., директор, Научно-исследовательский институт прикладной и экспериментальной экологии, Кубанский государственный аграрный университет, 350000, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: niiecolology@mail.ru

Давыдов Александр Вячеславович, старший научный сотрудник, отдел научных исследований и экологических проблем, Научно-исследовательский институт прикладной и экспериментальной экологии, Кубанский государственный аграрный университет, 350000, г. Краснодар, ул. Калинина, 13; e-mail: nir@instecology.ru