

## РАЗДЕЛ 2.

### ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 631.41

#### ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ПРИКАСПИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ)

*Валов М. В., Бармин А. Н., Колотухин А. Ю., Ерошкина О. С., Пробст Е. Н.,  
Ларин А. В.*

*ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань, Российская  
Федерация*

*E-mail: m.v.valov@mail.ru*

Рассмотрены некоторые ведущие факторы ландшафтной трансформации, влияющие на миграцию легкорастворимых солей в почвах водно-аккумулятивных равнин Прикаспия. По результатам ландшафтно-экологического мониторинга на стационарном профиле в дельте реки Волги с 1979 по 2015 годы проведён геохимический анализ динамики содержания ионов водорастворимых солей в почвах урочищ низкого, среднего и высокого уровней дельтового ландшафта в слое почвы 0–15 см. Анализируется динамика общей суммы легкорастворимых солей, токсичности и отношения  $Cl/SO_4^{2-}$  в водной вытяжке; содержание катионов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ) и анионов ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) в почвах дельты реки Волги в зависимости от изменения природных и антропогенных условий.

**Ключевые слова:** засоление почв, водорастворимые соли, токсичность почвенного раствора, гидрологический режим, дельта реки Волги.

#### ВВЕДЕНИЕ

Прикаспийская низменность представляет собой уникальный природный район, расположенный на юго-восточной окраине Восточно-Европейской равнины. Плоская поверхность Прикаспийской низменности находится ниже уровня Мирового океана и резко отделяется от окружающих её приподнятых территорий. Важную роль в водном балансе Прикаспия играет весенне-летний сток рек, протекающих на данной территории, который обуславливает формирование здесь интразональных пойменно-лиманных ландшафтов, смягчающих общую засушливость территории [1].

В связи с высокой степенью аридности и гипсометрическим однообразием Прикаспийской равнины важным фактором, влияющим на степень увлажнения территории, является строение рельефа: разнообразные неровности способствуют перераспределению влаги по поверхности, более быстрому стеканию с повышений и некоторому застаиванию в понижениях. Данные различия в увлажнении создают разные условия для перераспределения солей в почвах, а различия в засолённости

почв влияют на дифференциацию растительного покрова и степень опустыненности на разных элементах рельефа [2].

Развитие комплексности почвенного покрова на суглинистых равнинах Прикаспия отражает не только обусловленную климатом динамику перераспределения в почвах солей, но и незавершенность процесса почвообразования, связанную с относительной молодостью территории.

Особенно активно на территории Прикаспийской низменности процессы почвообразования происходят в устьевых природных системах крупных рек. Ведущими факторами, влияющими на динамику почвенных процессов и геохимический состав почвенного покрова равнинных дельтовых областей Прикаспия, являются колебания уровня Каспийского моря, объёмы водного стока рек, в особенности в весенне-летний период, изменения климатических характеристик и антропогенная деятельность [3].

Крупнейшей водно-аккумулятивной равниной Прикаспия является дельта реки Волги, ландшафт которой является интразональным, однако зональные факторы сказываются на характере распределения солей в профиле почв, наличии солончаковых и солончаковатых их разновидностей, распространении засоленных лугов и пятен голых солончаков [1].

В связи с особенностями климата, а именно с преобладанием в низовьях Волги испарения над среднегодовым количеством осадков, почвенный покров подвергается воздействию, с одной стороны, интенсивного капиллярного подтягивания к поверхности солей летом, а с другой – вымыванию их в период весеннего разлива речных вод. Во время половодий в дельте реки Волги ежегодно происходят разнонаправленные процессы миграции легкорастворимых солей в почвах, в зависимости от высотного положения конкретного участка. На низких, долгопоемных участках после половодий происходит рассоление почв, в то же время на более высоких, не затапливаемых или затапливаемых на небольшой срок, наоборот, после половодий количество солей в верхних горизонтах увеличивается. Эти различия связаны с неодинаковым соотношением выпотного и промывного процессов в почвах урочищ разных высотных уровней дельтового ландшафта [4].

При свойственном Прикаспию чередованию циклов много- и малопаводковых лет содержание в почвах легкорастворимых солей и их химический состав изменяются довольно значительно, что имеет важное значение для научного обоснования оптимальных видов природопользования и разработки комплекса охранных мероприятий почвенного покрова дельты.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В 1979 г. в дельте р. Волги, с целью осуществления наблюдения за состоянием почв, в районе поселка Володарский лабораторией луговедения Астраханского государственного педагогического университета был заложен стационарный профиль. С помощью нивелира была установлена высота всех точек над меженью реки и их положение относительно рейки расположенного вблизи водомерного поста в с. Большой Могой. Начиная с 1979 г., на закрепленном реперами профиле

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

периодически закладывались 496 площадок 2x2 м. После геоботанического описания в центре описанной площадки закладывался квадрат 1x1 м, по углам и в центре которого брались пробы почв. Эти пробы смешивались, и из общей массы отбирался средний образец. Отбор почвенных образцов на профиле проводился в верхнем почвенном слое 0–15 см.

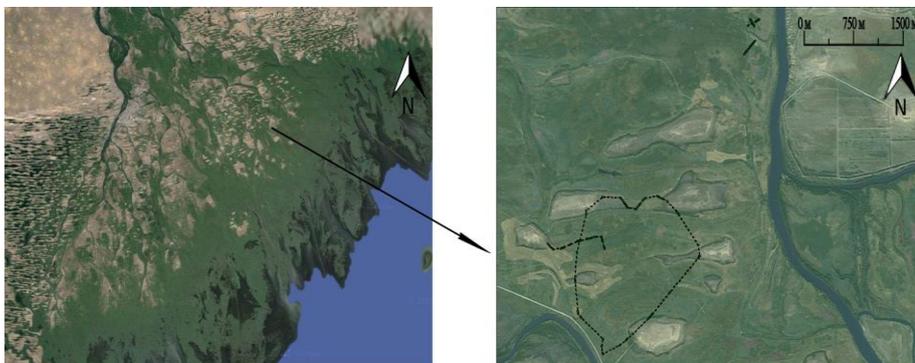


Рис. 1. Схематическое расположение стационарного профиля в дельте реки Волги (фрагмент космического снимка Google).

Определение ионного состава водной вытяжки осуществлялось испытательным центром Федерального государственного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Астраханский». Анализы проведены в соответствии с действующими в настоящее время стандартами:  $\text{Cl}^-$  по ГОСТ 26425–85;  $\text{SO}_4^{2-}$  – по ГОСТ 26426–85;  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – по ГОСТ 26428–85;  $\text{K}^+$  и  $\text{Na}^+$  – по ГОСТ 26427–85; плотный остаток – по ГОСТ 26423–85. Интерпретация результатов анализов проведена в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР» 1977 г. [5].

Характеристика засоления почв, кроме данных о составе водной вытяжки, дополняется нами расчетом «суммарного эффекта токсичных ионов», в эквивалентах хлора (Т), вычисленного по алгоритму Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой, который для краткости был назван «показателем токсичности почвенного раствора» [6].

Ввиду того, что в 1996 и 2002 гг. учеты на профиле были продолжены только на 126 точках, детальный анализ динамики состава ионов в водной вытяжке проводится именно на этом количестве площадок. Предыдущие результаты мониторинга осязаны в работах [2, 3, 4, 7, 8].

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Основными ведущими природными факторами, определяющими геохимические особенности миграции водорастворимых солей в почвенном покрове дельты р. Волги, являются гидрологический режим, особенности климата территории, условия влагообеспеченности, уровень и минерализация грунтовых

вод, система дельтового рельефа и приуроченные к ней процессы, а также динамика уровня Каспийского моря [3, 8].

Среди антропогенных факторов следует выделить хозяйственное и рекреационное использование территории и влияние химического загрязнения среды от различных источников.

Названные факторы по своему воздействию чаще всего являются комплексными, влияющими одновременно на аэрацию почвы, её увлажнение, температуру и прочие параметры экотопа.

При понижении уровня Каспийского моря происходит некоторое удлинение дельт за счёт осушения подводной (островной) части. При быстром отступании моря распластование паводка увеличивается и речные воды растекаются по осушившейся поверхности, прорезая новые русла (протоки) и находя новые пути для стока и сброса вод. После относительно кратковременного (от нескольких лет до нескольких десятилетий) периода устанавливается связь протоков с новым уровнем моря, происходит врезание, постепенно распространяющееся вверх по течению водотоков, снижается меженный уровень рек и проток, понижаются при прочих равных условиях паводковые разливы, быстрее идёт спад паводка.

При трансгрессии Каспия наблюдаются процессы обратной направленности: происходит подпор речных вод, повышается меженный уровень, увеличивается длительность половодий [1].

До начала 1930-х годов колебания уровня Каспийского моря отражали влияние только естественных природных климатических и тектонических процессов; однако в последующие годы антропогенное воздействие на уровень моря стало возрастать. Главным образом, это воздействие проявилось в результате крупных водохозяйственных мероприятий на водосборе Каспийского моря (в основном в бассейне Волги), а также в искусственном уменьшении стока морских вод в залив Кара-Богаз-Гол. Изъятие речного стока на хозяйственные нужды и его потери с поверхности водохранилищ привели к уменьшению суммарного водного стока в Каспий, что ускорило климатически обусловленное падение уровня моря до 1978 г. и несколько замедлило повышение моря в 1978–1995 гг. [9].

Строительство каскада гидроэлектростанций на Волге привело к существенному изменению её внутригодового водного режима. Проведённые исследования по изменению гидрологического режима показали, что с началом заполнения водохранилищ, расположенных на реке Волге, происходило снижение объёма водного стока. Лишь с 80-х годов XX века средний объём водного стока сравнялся и даже несколько превысил величину водного стока в естественный (нерегулируемый) период. В это же время наблюдается увеличение количества атмосферных осадков и плавное снижение объёма водозабора для нужд промышленности и сельского хозяйства. За период исследований 2002–2011 гг. произошло некоторое снижение среднегодового стока на 7 % по сравнению с периодами 1982–1991 и 1992–2001 гг., также снизилось количество атмосферных осадков, но, в связи с существенным ростом среднегодовой температуры воздуха, возросло испарение (табл. 1) [10, 11].

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

Следующим фактором, определяющим степень влагообеспеченности и, как следствие, функционирование почвенно-растительного покрова дельтовых ландшафтов, является количество выпадающих атмосферных осадков за вегетационный период. В дельте реки Волги количество атмосферных осадков за период с  $t^{\circ}\text{C} > 10^{\circ}\text{C}$  изменялось синфазно с уровнем водного стока за II квартал. За период ведения мониторинга в динамике среднегодовой суммы температур с  $t^{\circ}\text{C} > 10^{\circ}\text{C}$  отмечен положительный тренд: с 1922 по 1981 гг. колебания сумм температур происходили в диапазоне 3400–3600  $^{\circ}\text{C}$ , а с 1982 по 2016 гг. – уже в диапазоне 3600–3900  $^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура воздуха при рассмотрении по десятилетним периодам с 1922 по 2016 гг. возросла на 1.4 $^{\circ}\text{C}$  [3, 12].

Таблица 1.

Гидрометеорологические показатели по данным гидрометеорологической станции г. Астрахани по периодам

Годы	Среднего- довая температу- ра воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Средняя сумма температур за период с температу- рой $> 10^{\circ}\text{C}$	Среднего- довая сумма осадков, мм	Сумма осадков за период с температу- рой $> 10^{\circ}\text{C}$	Гидротерми- ческий коэффициент по Г.Т. Селянинову
1922-1931	9,4	3417	200	122	0,36
1932-1941	9,4	3624	178	108	0,30
1942-1951	9,2	3446	163	85	0,25
1952-1961	9,6	3622	193	101	0,28
1962-1971	9,8	3472	196	103	0,30
1972-1981	10	3601	189	118	0,33
1982-1991	10,2	3714	222	128	0,34
1992-2001	10,3	3612	259	168	0,46
2002-2011	10,8	3886	232	114	0,29
2012-2016	10,8	3862	242	153	0,40

По интенсивности дельтовых процессов, связанных с высотой над меженным уровнем, рельефом и залеганием грунтовых вод после половодья профессором И.А. Цаценкиным луга дельты Волги были разделены на три экологических уровня: высокого, среднего и низкого [13].

Луга низкого уровня имеют интервал высот 1.2 м и ниже, в период половодья длительность их затопления в среднем колеблется от 2 до 3 месяцев. В соответствии с морфологической структурой ландшафта дельты р. Волги пояс низкой дельты приурочен к береговым зонам урочищ ильменей, култучно-равнинных урочищ низкого уровня с избыточным увлажнением, к понижениям мелкогравистых островных урочищ, к которым приурочены аллювиальные болотные иловато-перегнойно-глеевые почвы, формирующиеся в условиях избыточного поверхностно-грунтового увлажнения [8].

Сопоставление ионного состава водных вытяжек за наблюдаемый период показало, что от 1979 к 2002 гг. на лугах низкого уровня шло направленное уменьшение суммы легкорастворимых солей (за исключением маловодного 1996 г.), которое совпало с увеличением водного стока р. Волги (рис. 2). В последующие 2006, 2011 и 2015 гг., в связи с очень малым половодьем и низким уровнем подъема воды в весенне-летний период, количество солей возросло вновь.

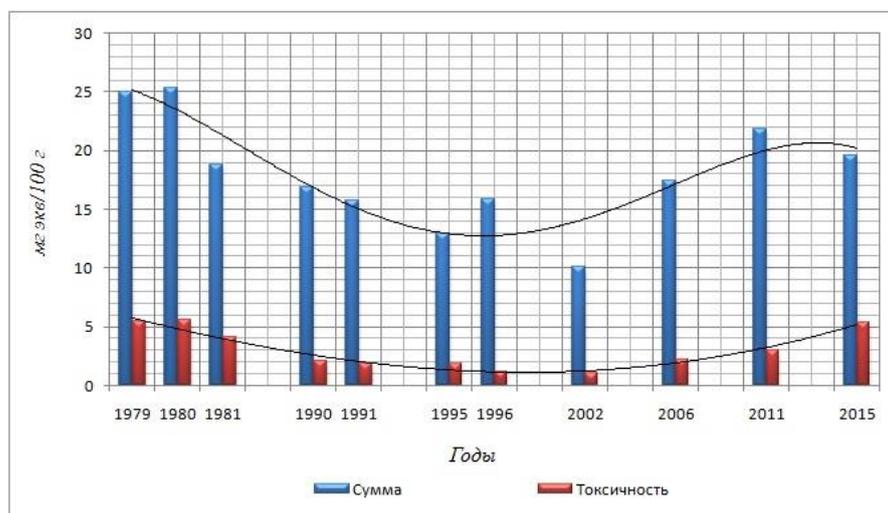


Рис. 2. Динамика суммы водорастворимых солей и токсичности почвенного раствора на лугах низкого уровня.

За счет уменьшения содержания иона хлора и натрия токсичность почвенного раствора на лугах низкого уровня продолжала падать во все годы наблюдений и от 1979 к 2002 гг. уменьшилась в 5 раз [2].

Токсичный анион хлора характеризуется весьма высокой степенью подвижности в почвенном профиле. В почвах лугов низкого уровня дельты реки Волги от 1979 к 2002 гг. количество ионов данного элемента уменьшилось в 8 раз (рис. 3) [4].

В связи с резким спадом объема водного стока за второй квартал в 2006 и в 2011 гг. содержание иона хлора по сравнению с результатами 2002 г. возросло в 2.6 и 4 раза соответственно, в 2015 г. отмечено максимальное содержание хлор-иона в верхнем почвенном горизонте, что объясняется низкими уровнями половодий в данном и предшествующем (2014) годах, а также малым количеством осадков в летний период [3].

Изменение содержания сульфат-ионов происходило схожим образом с ионом хлора, но с меньшим размахом значений. Минимальное содержание сульфат-иона зарегистрировано в 2015 г. (по сравнению с максимальным значением 2011 г. снижение произошло в 2 раза). Отношение  $Cl^-/SO_4^{2-}$  от 1979 к 2011 гг. снизилось более чем в 2 раза.

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

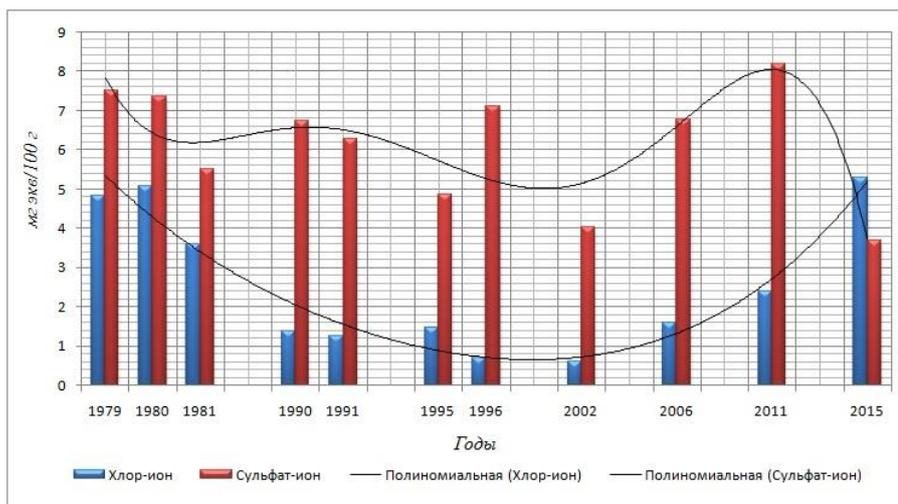


Рис. 3. Динамика анионов в почвах лугов низкого уровня.

Содержание в почвах лугов низкого уровня катионов кальция последовательно снижалось от 1980 к 2002 г., за исключением 1996 г., когда количество ионов данного элемента возросло, вернувшись к значениям 1979 г. (рис. 4). С 2002 г. наблюдается увеличение катионов кальция, максимум содержания которого отмечен в 2011 г. Похожим образом происходила миграция катионов магния. Содержание ионов натрия в почвах лугов низкого уровня резко снижалась с начала наблюдений (1979 г.) до 1996 г., когда отмечено минимальное содержание ионов данного элемента, с 2000-х годов содержание натрия в верхнем почвенном горизонте стабильно увеличивалось [7].

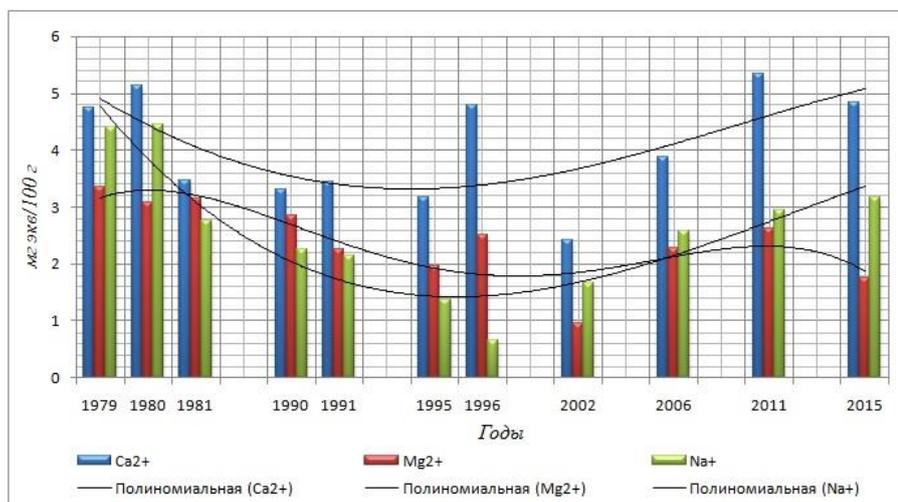


Рис. 4. Динамика катионов в почвах лугов низкого уровня.

В многолетнем отношении преобладающий тип засоления на лугах данного уровня – хлоридно-сульфатный. Смена на сульфатный тип засоления отмечена в многоводные 1990, 1991 и 2002 гг. Преобладание сульфатного типа засоления в крайне маловодном 1996 г. возможно объяснить тем, что в предшествующие 1994 и 1995 гг. половодье было высоким и значительная часть легкорастворимых солей была вынесена вниз по почвенному профилю. Кроме того, в период отбора проб в 1996 г. (август–сентябрь) выпало значительное количество осадков, что также способствовало снижению содержания водорастворимых солей в верхнем почвенном горизонте. Смена типа засоления на более токсичный сульфатно-хлоридный в 2015 г. произошла из-за крайне низких объёмов водного стока за II квартал в этом и предшествующем (2014) гг. [3].

Как было отмечено ранее, луга среднего уровня были дополнительно подразделены на 2 подуровня: расположенные в интервале высот 1.3–1.8 м и 1.9–2.4 м [4]. Пояс среднего уровня формируется на культурно-равнинных урочищах среднего уровня, мелкогрядистых островных урочищах среднего уровня и среднеуровенных урочищах гряд на культурной основе, почвы преимущественно аллювиальные дерновые насыщенные и аллювиальные луговые, которые в зависимости от влияния в почвообразовании зональных и интразональных факторов, характера слоистости и развитости подразделяются на несколько подтипов, грунтовые воды залегают на глубине порядка 2–2.5 м [3, 5].

Общее количество солей на лугах среднего уровня (1.3–1.8 м) от начала наблюдений до 1991 г. снизилось на 42% (рис. 5).

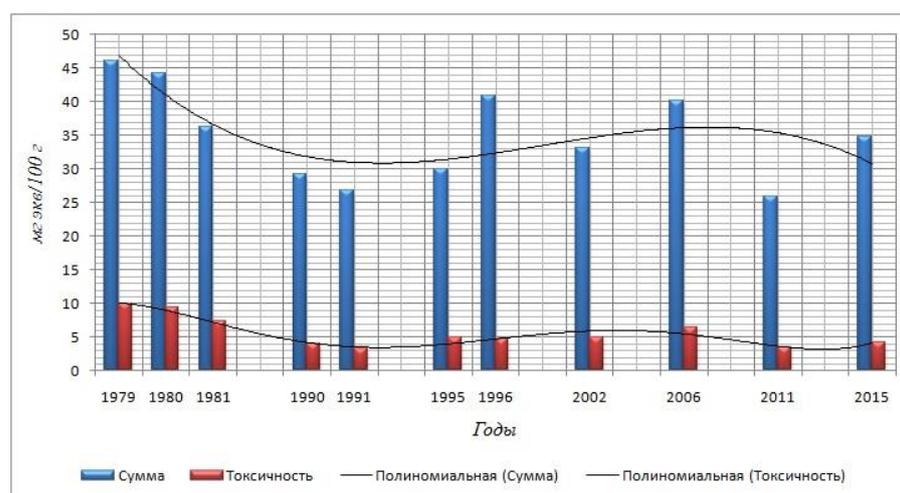


Рис. 5. Динамика суммы водорастворимых солей лугов среднего уровня (1.3–1.8 м).

Начиная с 1995 г. количество солей вновь стало возрастать, приблизившись по своим значениям к 1980 г. Несмотря на увеличение общего содержания солей в

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

2002 г. отношение  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  было меньше чем в 1979 г. в 2 раза. Тоже происходило и с суммарным эффектом токсичных ионов.

В 2011 году общая сумма солей была наименьшей за все годы наблюдений и, по сравнению с 1979 г., снизилась на 44%. Отношение  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  от 1979 к 2011 г. уменьшилось в 3 раза, токсичность снизилась втрое и была наименьшей за весь период наблюдений [3].

В 2015 г. сумма легкорастворимых солей по сравнению со значениями 2011 г. возросла в 1.3 раза, отношение  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  было максимальным за период ведения мониторинга [8].

С 1979 по 1995 гг. происходило снижение анионов хлора и сульфатов (рис. 6). В 1996 г. произошло резкое увеличение количества сульфатов в почвах лугов среднего уровня, количество ионов хлора напротив, снизилось. В 2002 и 2006 гг. количество данных анионов несколько возросло, в 2011 г. наблюдается снижение содержания названных ионов.

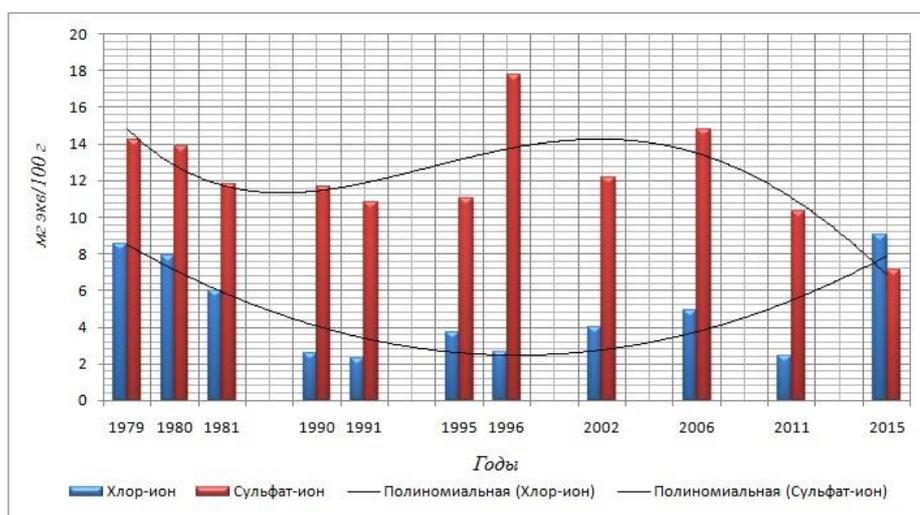


Рис. 6. Динамика анионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1.3–1.8 м).

В 2015 г. содержание сульфат-ионов снизилось и было минимальным за период исследований, количество анионов хлора напротив, резко увеличилось и являлось максимальным за все годы наблюдений.

Количество катионов магния и натрия последовательно снижалось от 1979 к 1991 гг., ионов кальция – по 1990 гг. (рис. 7).

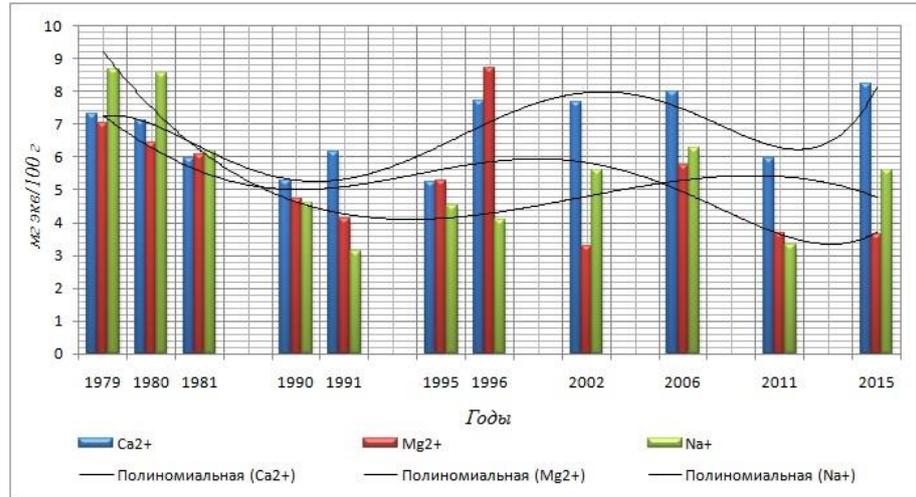


Рис. 7. Динамика катионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1.3-1.8 м).

С 1995 по 2006 гг. происходило увеличение содержания катионов кальция и натрия, количество магния, значительно увеличившись в 1996 г., резко сократилось в 2002 г., затем, несколько увеличившись в 2006 г., вновь снизилось в 2011 г. В 2015 г. в верхнем почвенном горизонте отмечено увеличение катионов кальция (максимальное значение за период мониторинга) и натрия. Преобладающий тип почвенного засоления во все годы наблюдений (за исключением 1996 г.) – хлоридно-сульфатный [7].

Содержание солей в почвах лугов среднего уровня, расположенных в интервале высот 1.9–2.4 м флуктуировало, при общей тенденции к снижению (рис. 8).

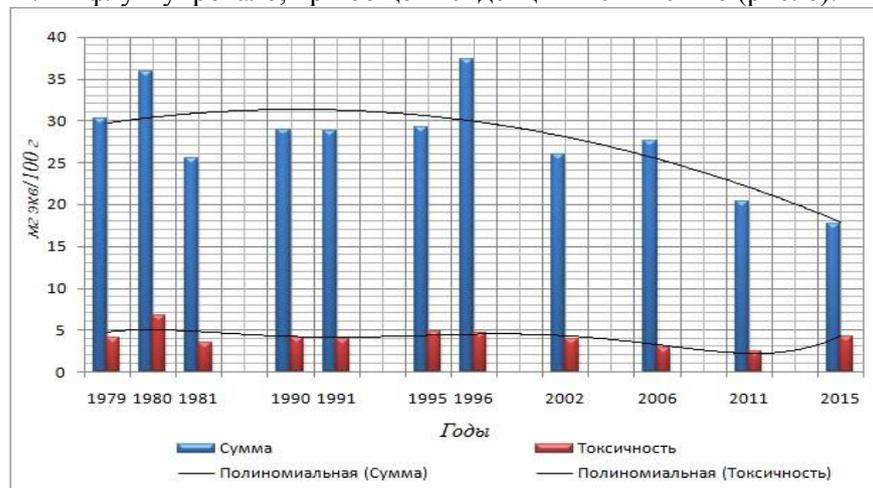


Рис. 8. Динамика суммы водорастворимых солей лугов среднего уровня (1.9–2.4 м).

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

Сумма солей в 2015 г. была наименьшей за период наблюдений, по сравнению первоначальными значениями 1979 г. данная величина снизилась в 1.7 раза. Токсичность почвенного раствора в 2011 г. по отношению к 1979 г. снизилась на 40 %, в 2015 г. токсичность несколько возросла, отношение  $Cl^-/SO_4^{2-}$  было максимальным за все годы [3].

В интервале высот 1.9–2.4 м наблюдается плавное снижение содержания сульфат-иона на всём протяжении мониторинга, при некотором его увеличении в 1996 г. (рис. 9). Минимальное содержание данного аниона отмечается в 2015 г. (по сравнению со значениями 1979 г. количество сульфат-ионов сократилось в 3.3 раза).

Содержание хлор-иона, значительно увеличившись в 1980 г., в 1981 г. снизилось и флуктуировало при общей тенденции к снижению; минимальное значение данного элемента отмечено в 2011 г. (по отношению к 1979 г. произошло снижение в 1.7 раза). В 2015 г. количество анионов хлора резко увеличилось (в 2.4 раза по отношению к 2011 г.), и впервые за период мониторинга превысило величину содержания сульфат-ионов [4].

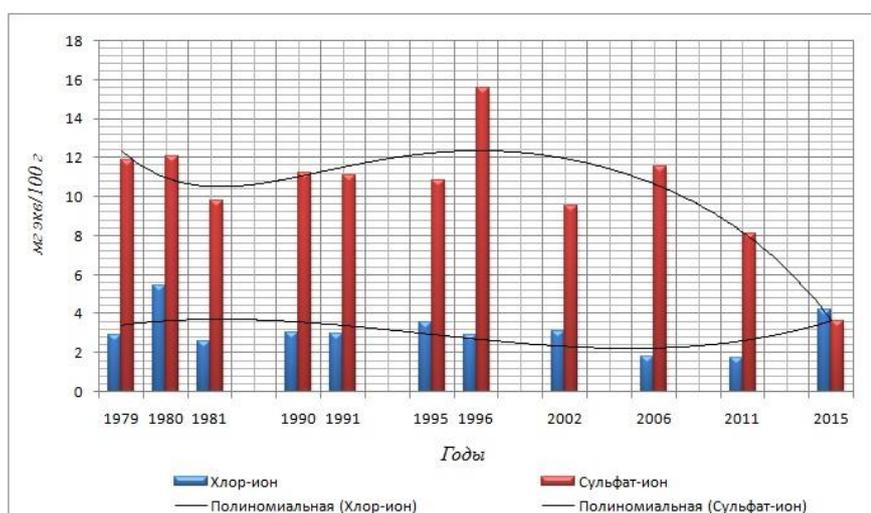


Рис. 9. Динамика анионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1.9–2.4 м).

В динамике катиона кальция отмечено плавное снижение его содержания от 1979 к 2015 гг. (рис. 10). Данная тенденция была нарушена лишь в 1996 г. Количество ионов магния снижалось от 1979 к 1991 гг. В 1995–1996 гг. содержание магния в почвах увеличилось почти вдвое, после чего происходило снижение данного иона, вплоть до 2015 г.

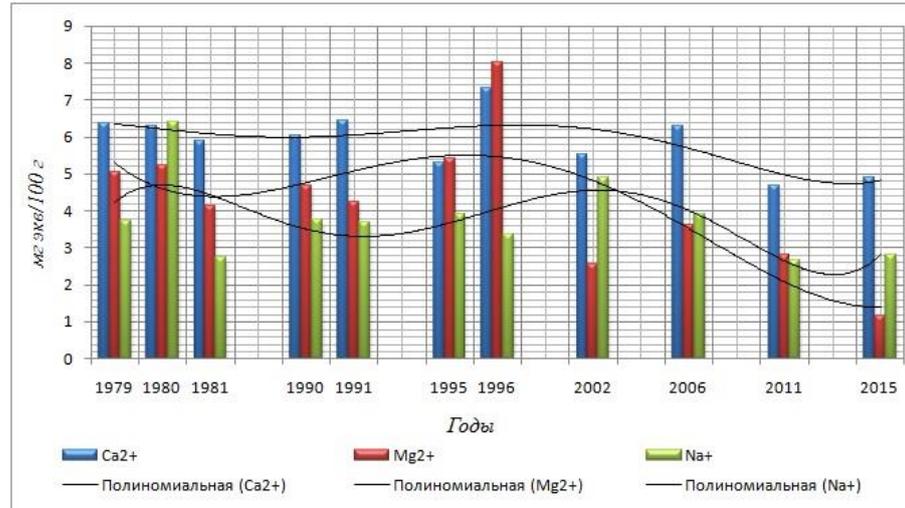


Рис. 10. Динамика катионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1.9–2.4 м).

В динамике катионов натрия наблюдалось два периода максимума (1980 и 2002 гг.), после которых наблюдались периоды минимума (1981 и 2011 гг.) [8].

Тип засоления почвенного покрова лугов данного экологического уровня – хлоридно-сульфатный, однако в 2015 г. отмечен переход к более токсичному сульфатно-хлоридному типу.

Луга высокого уровня (интервал высот над меженью от 2.5 м и выше) в дельте р. Волги приурочены к делювиальным шлейфам урочищ бэровских бугров и мелкогивистых островных урочищ высокого уровня [2, 3]. Небольшие площади в шлейфовой зоне бэровских бугров занимают аллювиально-дерново-опустынивающиеся карбонатные почвы, которые формируются на переслаивающихся суглинистых и супесчаных делювиально-аллювиальных отложениях, подстилаемых толщами древнекаспийских пород различного механического состава. В период половодий участки, занимаемые данным типом почв, затапливаются крайне редко, лишь в многоводные годы, и чаще всего испытывают влияние динамического подпора грунтовых вод, которые залегают на глубинах от 2.5 до 4 м. В почвах лугов высокого уровня общее содержание солей флуктуировало, при общей тенденции к уменьшению содержания токсичных ионов хлора и натрия, что привело к снижению токсичности почвенного раствора (рис. 11).

Тип засоления почвенного покрова лугов данного уровня во все годы наблюдений стабильно хлоридно-сульфатный [3].

От начала наблюдений в 1979 г. к 2002 г. токсичность почвенного раствора на лугах высокого уровня снизилась в 2.6 раза, в 2006, 2011 и 2015 гг. происходит некоторое увеличение содержания токсичных солей.

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

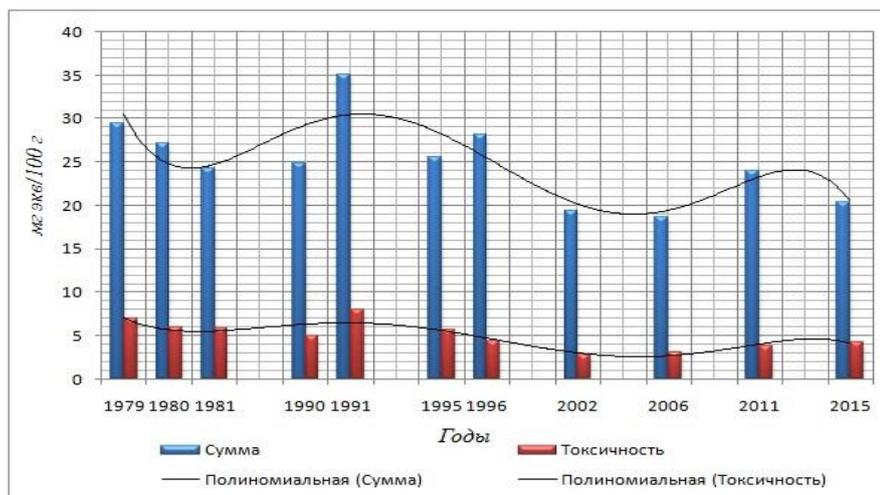


Рис. 11. Динамика суммы водорастворимых солей и токсичности почвенного раствора на лугах высокого уровня (интервал высот над меженью от 2.5 м и выше).

В 2011 г. на 24% (по сравнению с 2002 г.) возрастает общее содержание солей, в 2015 г. их сумма несколько снизилась, однако произошло увеличение токсичности почвенного раствора (в 1.5 раза по сравнению с минимальными значениями 2002 г.), но численные показатели 1979 г. превышены не были [4].

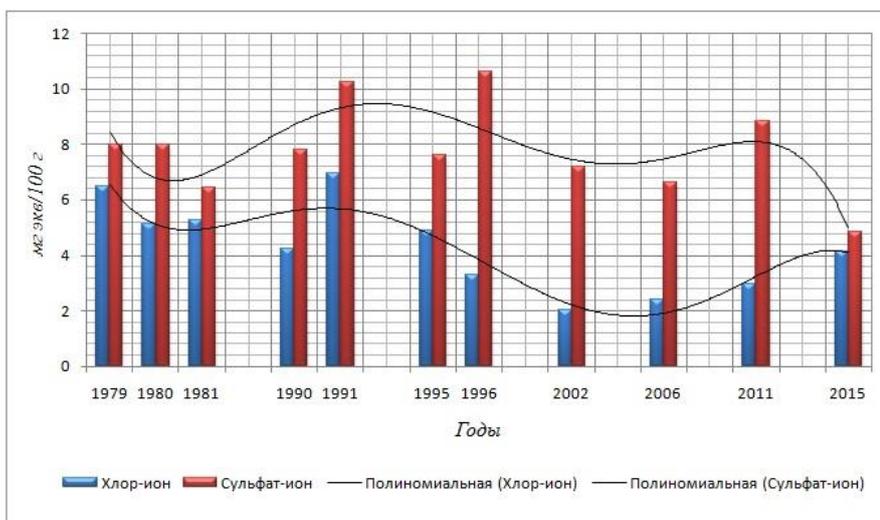


Рис. 12. Динамика анионов в почвах лугов высокого уровня (интервал высот над меженью от 2.5 м и выше).

Количество анионов хлора в период наблюдений с 1979 по 2011 гг. уменьшилось в 2 раза, количество сульфат-ионов флуктуировало при общей

тенденции к снижению (за исключением значений 1991, 1996 и 2011 гг.) (рис. 12). В 2015 г. по сравнению со значениями 2011 г. количество хлор-ионов увеличилось в 1.4 раза, количество сульфат-ионов напротив, снизилось почти вдвое (в 1.8 раза) и являлось наименьшим за период мониторинга [8].

Количество катионов кальция, магния и натрия последовательно снижалось от 1979 к 2011 гг., данная тенденция была нарушена лишь в многоводный 1991 г. для всех катионов и маловодный 1996 г. для катионов кальция и магния (минимальное содержание данных элементов отмечено в 2006 г.) (рис. 13).

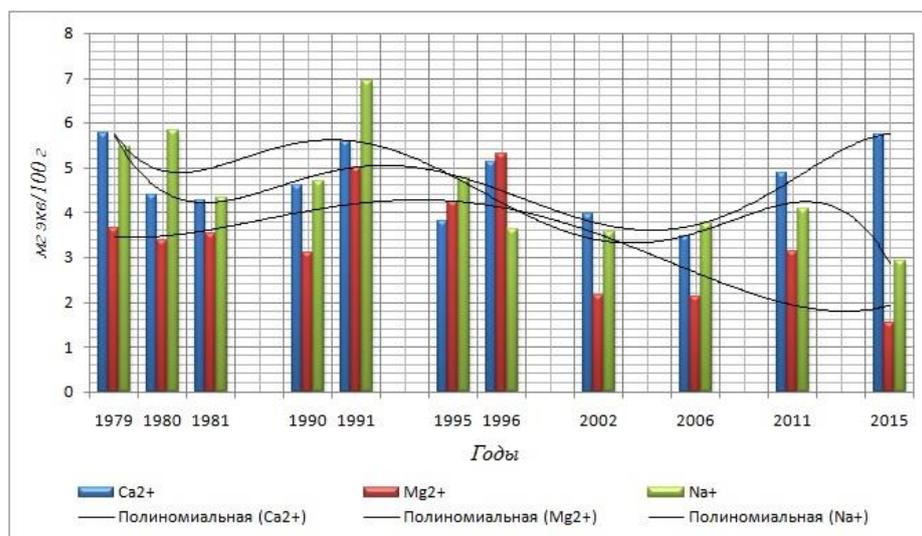


Рис. 13. Динамика катионов в почвах лугов высокого уровня (интервал высот над меженью от 2.5 м и выше).

В 2011 г. произошло увеличение содержания названных ионов по сравнению с предшествующим периодом наблюдений, в 2015 г. продолжало возрастать количество катионов кальция, содержание магния и натрия несколько снизилось [3].

## ВЫВОДЫ

За время ведения почвенного мониторинга в дельте реки Волги можно выделить два периода, которые отличаются между собой особенностями гидрологического режима реки Волги и тенденциями динамики легкорастворимых солей в почвенном покрове.

Первый период – с 1979 по 2005 гг. – характеризуется увеличением водности в долине Нижней Волги. Данный временной этап можно охарактеризовать как период интенсивного почвенного рассоления. Средние объемы весенне-летних половодий постепенно увеличивались, как и их длительность, параллельно происходили подъём и стабилизация уровня Каспийского моря.

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЛЕГКОРАСТВОРИМЫХ СОЛЕЙ В ПОЧВАХ ВОДНО-АККУМУЛЯТИВНЫХ РАВНИН ...

---

За это время произошло значительное вымывание легкорастворимых солей (главным образом – анионов хлора и катионов натрия), что привело к снижению токсичности верхнего почвенного слоя лугов низкого и среднего экологического уровней. Суммарное содержание солей в почвах лугов высокого экологического уровня флуктуировало в нешироких пределах, однако токсичность почвенного раствора на лугах данного уровня также снизилась.

Второй период – 2006 г. и по настоящее время – характеризуется значительным сокращением объёмов весенне-летних половодий, что привело к обратным тенденциям в почвенном покрове лугов низкого и среднего экологических уровней. Общее содержание солей, токсичность и отношение  $Cl/SO_4^{2-}$  сравнению с минимальными значениями 2002 г. увеличились практически вдвое, но не превысили значения 1979 г.

В почвенном покрове лугов низкого и среднего экологических уровней, при общем многолетнем типе засоления хлоридно-сульфатном, в особенно многоводные годы (более 115 км<sup>3</sup>) отмечена смена типа засоления на менее токсичный сульфатный, в крайне маловодные годы (менее 80 км<sup>3</sup>) напротив – на более токсичный сульфатно-хлоридный.

Ввиду малого количества атмосферных осадков и крайне редкого затопления лугов высокого экологического уровня промывание почвенного профиля здесь практически отсутствует, в связи с чем процессы радиальной миграции водорастворимых солей в данных и пониженных интервалах высот отличаются. Многолетние наблюдения показали, что при низких объёмах половодья (менее 80 км<sup>3</sup>) и, соответственно, малом подъёме грунтовых вод, в верхнем почвенном слое лугов данного уровня происходит снижение токсичности и значений  $Cl/SO_4^{2-}$ .

В верхнем почвенном слое лугов всех экологических уровней определённно можно говорить о снижении содержания катионов магния и, соответственно, уменьшении представленности магниевых соединений от общего количества водорастворимых солей.

В почвенном покрове лугов среднего уровня, расположенных в интервале высот 1.3–1.8 м произошло увеличение содержания катионов кальция, что, при одновременном снижении анионов хлора является очень благоприятным изменением, т.к. в ряду кальциевых солей только  $CaCl_2$  обладает токсичными свойствами.

В динамике хлоридов и сульфатов в почвах лугов среднего экологического уровня, расположенных в интервале высот 1.9–2.4 м отмечены противофазы – в период с 1978 по 1988 гг. преобладало увеличение содержания ионов хлора при одновременном снижении содержания сульфатов, до 1996 г. – противоположная тенденция, в последующий период наблюдений – вновь сокращение общей доли сульфат-ионов и увеличение содержания анионов хлора.

Результаты многолетних сравнительных наблюдений, направленных на выявление причинно-следственных связей между метеогидрологическими условиями и общим содержанием и химическим составом содержащихся в почвах водорастворимых солей позволяют выявить механизмы трансформации среды, оценить глубину и направленность происходящих изменений, предположить их

дальнейшие пути развития и, кроме того, могут быть использованы для разработки комплекса мер, направленных на обеспечение наиболее оптимального использования природно-ресурсного потенциала территории, а так же для обеспечения устойчивого функционирования ландшафтов и повышения биоразнообразия.

#### Список литературы

1. Доскач А.Г. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 146 с.
2. Бармин А.Н., Валов М.В., Иолин М.М. Геохимические особенности миграции легкорастворимых солей в почвах лугов низкого уровня дельты реки Волги // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 1. С. 21–25.
3. Валов М.В., Бармин А.Н., Иолин М.М. Дельта реки Волги: влияние ведущих факторов ландшафтной трансформации на почвенно-растительный покров: монография. Издатель: Сорокин Роман Васильевич. Астрахань, 2018. 140 с.
4. Бармин А.Н., Валов М.В., Шуваев Н.С. Почвенный покров дельты реки Волги: метеогидрологические изменения как факторы влияния на геохимические особенности миграции легкорастворимых солей // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2015. №15. С. 145–155.
5. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
6. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. №11. С. 3–15.
7. Голуб В.Б., Старичкова К.А., Бармин А.Н., Иолин М.М., Сорокин А.Н., Николайчук Л.Ф. Оценка динамики растительности в дельте реки Волги // Аридные экосистемы. 2013. №19 (56). С. 58–68.
8. Валов, М.В. Дельта реки Волги: структурно-динамические особенности каузального влияния дестабилизирующих факторов среды на функционирование почвенно-растительного покрова: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. ПГНИУ, 2018. 24 с.
9. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / В.Н. Михайлов. М.: ГЕОС, 2013. 703 с.
10. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России: Часть 2: Бассейны рек Волги и Дона. Институт географии РАН. М.: МАКС Пресс, 2014. 216 с.
11. Бармин А.Н., Валов М.В. Устьевая область реки Волги: интегральная оценка некоторых природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение гидрологического режима // Естественные науки. 2015. №2. С. 7–15.
12. Barmin A.N., Valov M.V., Suvaev N.S., Kolchin E.A. Concerning global climate change: ninety-year trend of some climatic characteristics in the delta ecotones of the Caspian Sea region. IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary». Proceedings / Ed.: A. Gilbert, V. Yanco-Hombach, T. Yanina. (22–30 September 2015, Astrakhan, Russia). Moscow, MSU. pp. 26–29.
13. Цаценкин И.А. Растительность и естественные кормовые ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги / В кн.: Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги: сб. научн. трудов. М.: Изд-во МГУ, 1962. С. 118–192.

**WATERSOLUBLE RADIAL MIGRATION SPECIFIC FEATURES IN WATER-  
ACCUMULATION FLAT LAND SOILS OF PERI-CASPIAN LOWLAND  
(THROUGH THE EXAMPLE OF THE RIVER VOLGA DELTA)**

*Valov M. V., Barmin A. N., Kolotukhin A. Yu., Eroshkina O. S., Probst Ye. N.,  
Larin A. V.*

*Federal state budget educational establishment of higher education «Astrakhan State University»,  
Astrakhan, Russian Federation  
E-mail: m.v.valov@mail.ru*

The investigations were referred to reveal directions and migration regularities of watersoluble salts in the river Volga delta land cover under the influence of deltoid landscapes natural and anthropogenous agents transformation, as the result of which the following conclusions were obtained: spring-summer floodings amount increase and duration is the main factor influencing on watersoluble salts content in soils and soil solution toxicity decrease on the territory of the low and mean delta level, and for the high level natural boundaries is precipitation amount increase for vegetation period. The period of 1978–2002 for the river Volga delta can be characterized as phase of soil cover intensive desalinization. Besides water availability increase within low level long alluvial natural boundaries and high level short alluvial natural boundaries, watersoluble salts content decrease can be connected with the mowing nature: tall rough grasses, which were stopped to mow out (*Typha angustifolia* and *Phragmites australis* in the first case and *Glycyrrhiza glabra* in the second), protect soil from intensive vaporization and as a consequence, from moving up to the high-salinity underwater surface. Pasture load degree decrease influenced on natural boundaries soils desalinization acceleration of mean and high level in 1978–2002 and slowed salinization process in 2006–2016. Natural boundaries use decrease within midrange natural boundaries as a irrigated tilled field played a great role in the process of watersoluble content decrease, which led to the soil resalinization in the delta climatological conditions.

**Keywords:** soil salinization, water soluble salts, soil solution toxicity, hydrological regime, Volga river delta.

**References**

1. Doskach A. G. Prirodnoye rayonirovaniye Prikaspiyskoy polupustyni (Natural zoning of the Caspian semi-desert). Moscow: Nauka (Publ.), 1979, 142 p. (in Russian).
2. Barmin A.N., Valov M.V., Iolin M.M. Geohimicheskie osobennosti migracii legkorastvorimyh solej v pochvah lugov nizkogo urovnja del'ty reki Volgi (Geochemical features readily soluble salts migration in the meadows low soils of Volga delta). Rossijskij zhurnal prikladnoj jekologii, 2015, no 1, pp. 21–25 (in Russian).
3. Valov M.V., Barmin A.N., Iolin M.M. Del'ta reki Volgi: vlijanie vedushhih faktorov landshaftnoj transformacii na pochvenno-rastitel'nyj pokrov (Volga River Delta: the influence of the leading factors of landscape transformation on soil and vegetation cover): monografija. Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich. Astrahan', 2018, 140 p. (in Russian).
4. Barmin A.N., Valov M.V., Shuvaev N.S. Pochvennyj pokrov del'ty reki Volgi: meteogidrologicheskie izmenenija kak faktory vlijanija na geohimicheskie osobennosti migracii legkorastvorimyh solej (Soil cover Volga delta: gidrometeorological change as a factor of influence on geochemical features of

- soluble salts migration). Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015, no 15, pp. 145–155 (in Russian).
5. Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.N. i dr. Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR (USSR soil classification and diagnostics). Moscow: Kolos, 1977, 221 p. (in Russian).
  6. Bazilevich N.I., Pankova E.I. Opyt klassifikacii pochv po zasoleniju (Experience in soil classification by salinization). Pochvovedenie, 1968, no 11, pp. 3–15 (in Russian).
  7. Golub V.B., Starichkova K.A., Barmin A.N., Iolin M.M., Sorokin A.N., Nikolajchuk L.F. Ocenka dinamiki rastitel'nosti v del'te reki Volgi (Estimate of vegetation dynamics in the Volga delta). Aridnye jekosistemy, 2013, no 19 (56), pp. 58–68 (in Russian)
  8. Valov, M.V. «Del'ta reki Volgi: strukturno-dinamicheskie osobennosti kausal'nogo vlijanija destabilizirujushhijh faktorov sredy na funkcionirovanie pochvenno-rastitel'nogo pokrova» (The River Volga delta: causal influence structural-dynamic specific features of environment destabilizing factors on soil-plant cover functioning). Phd thesis. PGNIU, 2018, 24 p. (in Russian).
  9. Ust'ja rek Kaspijskogo regiona: istorija formirovaniya, sovremennye gidrologo-morfologicheskie processy i opasnye gidrologicheskie javlenija (The rivers mouths of the Caspian region: the history of formation, modern hydrological and morphological processes and dangerous hydrological phenomena) / V.N. Mihajlov. Moscow: GEOS, 2013, 703 p. (in Russian).
  10. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Miljukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A. Sovremennye i scenarnye izmenenija rechnogo stoka v bassejnah krupnejshih rek Rossii: Chast' 2: Bassejny rek Volgi i Dona (Modern and scenic changes in river flow in the basins of Russia's largest rivers: Part 2: The basins of the Volga and Don rivers). Institut geografii RAN. Moscow: MAKS Press, 2014, 216 p. (in Russian).
  11. Barmin A.N., Valov M.V. Ust'evaja oblast' reki Volgi: integral'naja ocenka nekotoryh prirodnyh i antropogennyh faktorov, vlijajushhijh na izmenenie gidrologicheskogo rezhima (The mouth area of the Volga River: an integral assessment of some natural and anthropogenic factors affecting the change in the hydrological regime). Estestvennye nauki, 2015, no 2, pp. 7–15 (in Russian).
  12. Barmin A.N., Valov M.V., Suvaev N.S., Kolchin E.A. Concerning global climate change: ninety-year trend of some climatic characteristics in the delta ecotones of the Caspian Sea region. IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary». Proceedings / Ed.: A. Gilbert, V. Yanco-Hombach, T. Yanina. (22–30 September 2015, Astrakhan, Russia). Moscow, MSU, pp. 26–29.
  13. Cacenkin I.A. Rastitel'nost' i estestvennye kormovye resursy Volgo-Ahtubinskoj pojmy i del'ty r. Volgi (Vegetation and natural forage resources of the Volga-Akhtuba floodplain and delta Volga). V kn.: Priroda i sel'skoe hozjajstvo Volgo-Ahtubinskoj pojmy i del'ty r. Volgi. Sbornik nauchnyh trudov. Moscow, Izd-vo MGU, 1962, pp. 118–192 (in Russian).

*Поступила в редакция 07.05.2019*