




ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЧВЕННЫХ РАСТВОРОВ СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

© 2022 В. В. Попов 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: popov@issa-siberia.ru

В статье приведен обзор основных результатов исследований, посвященных изучению почвенных растворов солонцовых почв, полученных с помощью методов центрифугирования, отпрессовывания, вытеснения замещающей жидкостью и лизиметрии. Ввиду методических и технических трудностей, связанных с извлечением раствора из плотных горизонтов солонцовых почв, опубликованные работы по этой проблематике немногочисленны и посвящены, главным образом, генетическим и галохимическим вопросам. Тем не менее, в последнее время растет интерес к исследованиям, находящимся на стыке почвенного генезиса и гидрогеологии, способствующим лучшему пониманию функционирования почвенных процессов с учетом особенностей ландшафта. Учитывая то, что многие вопросы генезиса и мелиорации солонцов остаются открытыми, изучение почвенных растворов солонцовых почв является весьма актуальным и необходимым.

Ключевые слова: почвенный раствор; солонец; засоленные почвы; жидкая фаза почв; центрифугирование; лизиметрия

Цитирование: Попов В.В. Обзор результатов исследований почвенных растворов солонцовых почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 4. с189. DOI: [10.31251/pos.v5i4.189](https://doi.org/10.31251/pos.v5i4.189)

В почвенных растворах или с их участием происходят процессы растворения и выщелачивания, разрушения и синтеза вторичных минералов, органических веществ, органоминеральных соединений, миграция химических элементов по профилю почвы. Эти процессы в значительной степени определяют формирование тех или иных генетических горизонтов почв. Невозможно достаточно полно описать почвообразующий процесс, не зная состава почвенных растворов, условий их существования и характер взаимодействия с другими компонентами ионно-солевого комплекса. Понимание состава и свойств почвенных растворов имеет определяющее значение при изучении засоления и осолонцевания почв (Duarte, Souza, 2016; Hossain et al., 2020), а также оценке пула питательных веществ для растений (Böckmann et al., 2021).

Изучение же почвенных растворов засоленных, в частности, солонцовых почв, где кроме влажности и состава растворов, важную роль играет их высокая концентрация, имеет большое значение для правильного понимания генезиса этих почв и выбора мелиоративных мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия роста и развития растений.

Несмотря на то, что изучение почвенных растворов солонцов широко распространено, как в России, так и за рубежом, почти все эти работы (Miller, Brierley, 2011; Синявский, 2016; Окорков, 2020) основаны на методах имитации раствора (водные вытяжки и насыщенные водой почвенные пасты). Для приготовления водных вытяжек и почвенных паст к сухой навеске почвы добавляется количество воды, как правило, многократно превышающее таковое в реальной почве. Данные методы обладают рядом преимуществ, таких как простота приготовления, хорошая воспроизводимость, обширная база данных накопленных результатов. Метод насыщенных водой почвенных паст в зарубежной практике нередко считается эталонным (Alves et al., 2022). Однако, известно, что нарушение сложения почвы при подготовке образцов, высушивание и повторное увлажнение, короткое время взаимодействия почвы и влаги не отвечает реальным условиям формирования почвенных растворов. В результате, ионный состав получаемого почвенного раствора изменяется настолько, что становится фактически несравнимым с имеющимся в естественных условиях (Bresler et al., 1982; Сеньков; 1991, Vonito, 2005). Вместе с тем, считается, что естественному почвенному раствору наиболее полно соответствуют растворы, полученные отпрессовыванием, центрифугированием или вытеснением спиртом при естественной влажности почв (Шоба, Сеньков, 2011). Работы, посвященные изучению почвенных растворов солонцовых почв при естественной влажности, немногочисленны, так как подобные исследования сопряжены с трудностями, связанными, прежде всего, с извлечением раствора из плотного иллювиального горизонта этих почв. В данной статье приведен краткий обзор основных результатов

исследований, посвященных изучению почвенных растворов солонцовых почв, полученных с помощью центрифугирования, отпрессовывания, вытеснения замещающей жидкостью и лизиметрии, поскольку именно эти методы являются наиболее предпочтительными в генетических и галохимических исследованиях почвенных растворов.

Одной из первых фундаментальных работ, рассматривающих результаты исследований почвенных растворов засоленных почв, является работа Ковды В.А. «Происхождение и режим засоленных почв» (Ковда, 1946). Автором, совместно с Шаврыгиным П.И. и Гевельсон Т.А., были изучены почвенные растворы засоленных почв и некоторых незасоленных фоновых почв на территории Центральной Ферганы и Голодной степи. На основе многолетних стационарных исследований Ковда В.А. выявил основные закономерности миграции легкорастворимых солей, растворенных карбонатов и гипса. Он проследил изменение состава солей в почвенных растворах в зависимости от их концентрации, описал динамику солей в растворах и влияние полива на их состав. Им была предложена теория генезиса и современного развития засоленных почв, а также разработана одна из первых шкал оценки засоления почв по концентрации солей в почвенных растворах для почв хлопкосеющей зоны. Было установлено, что минерализация почвенных растворов, равная 3-5 г/л, соответствует незасоленным почвам (оптимальна для культуры хлопчатника на орошаемых почвах), концентрация солей 5-6 г/л соответствует слабому засолению, при содержании солей 10-12 г/л наступает сильное угнетение, а при 12-20 г/л и выше очень сильное угнетение хлопчатника (Ковда, 1946).

Шаврыгин П.И. (1963) исследуя почвенные растворы и грунтовые воды Центральной Барабы, в том числе и под корково-столбчатым солонцом, показал зависимость концентрации и состава солей почвенных растворов и грунтовых вод от количества осадков. Во влажный год растворы почвы менее минерализованы, а грунтовые воды более минерализованы, чем в сухой год, так как почвенные растворы сбрасывают соли в грунтовые воды. В засушливый год ситуация обратная, по причине капиллярного перемещения солей из грунтовых вод в верхние горизонты. Причем такая тенденция сохраняется и для корково-столбчатого солонца, несмотря на то, что его плотный иллювиальный горизонт препятствует промачиванию. По данным анализа водной вытяжки, которые приводит автор, проследить такую закономерность не представляется возможным.

Комарова Н.А. (1968) сравнивая химический состав почвенных растворов солонцов, полученных методом отпрессовывания и методом вытеснения этиловым спиртом, заключила, что данные методы позволяют получать находящийся в этих почвах раствор без изменения его состава. Химический анализ растворов в отношении сухого остатка, а также ионов HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} показал их однородность. Сравнивая эти два метода, автор указывает, что метод вытеснения этиловым спиртом дает возможность получать раствор из почв с более низким содержанием влаги, однако, необходимость предварительного смешивания почвы с песком в ряде случаев может привести к смещению равновесия в почвенном растворе. Метод отпрессовывания не требует смешивания почвенного образца с песком, но он плохо применим к почвам с низкой влажностью. Хотя позднее в процессе использования метода отпрессовывания, Сеньковым А.А. (2004) было сделано несколько технических усовершенствований, которые позволили в несколько раз увеличить скорость выделения почвенного раствора, достаточного для проведения анализа химического состава почв без ограничения диапазона их естественного увлажнения.

Семендяева Н.В. и Воропаева З.И. (1971) проводили изучение подвижного железа в почвенных растворах по профилю солонцов и фоновых почв лесостепи Омской области. Было установлено, что в почвенном растворе солонцов наибольшее количество железа приходится на элювиальный горизонт, что, в свою очередь, указывает на поверхностное оглеение за счёт атмосферных осадков, а не почвенно-грунтовых вод. Вниз по профилю содержание железа стремительно уменьшается, по-видимому, вследствие слабой фильтрации иллювиально-глинистых горизонтов солонцов. В лугово-черноземной почве тенденция распределения подвижного железа противоположна солонцам, то есть с глубиной его количество увеличивается. При сравнении содержания подвижного железа в почвенных растворах было выявлено, что в многонатриевых солонцах его меньше относительно малонатриевых.

Помимо этого, Воропаева З.И. (1982) исследовала почвенные растворы мелиорированных солонцов Омской области. Было установлено, что по причине значительной пульсации солей в грунтовых водах и в профиле почв, происходит дестабилизация состава обменных оснований мелиорированных солонцов и постепенное восстановление природных взаимосвязей между

основными показателями свойств этих почв. В кислованных солонцах это происходит за 6-7 лет, а в гипсованных – 12-15 лет. Вследствие медленной растворимости и высоких запасов Ca^{2+} , гипс дольше играет роль стабилизатора предотвращения вторичного осолонцевания, по сравнению с серной кислотой. Уместно добавить, что Н.В. Семендяева и Н.В. Елизаров (2017), изучавшие длительное действие фосфогипса на солонцовые почвы, установили положительное влияние мелиоранта на физические, физико-химические и химические свойства почвы в течение 30 лет. Вместе с тем, после резкого повышения уровня грунтовых вод (до 50 см) произошло вторичное засоление почв. Поэтому авторы делают вывод, что химическая мелиорация (фосфогипсом) имеет положительное влияние только при сравнительно стабильном уровне залегания грунтовых вод.

Воропаева З.И. (1990) выявила, что главными факторами, регулирующими содержание Na^+ в ППК, является степень засоления, отношение Na^+ к сумме Ca^{2+} и Mg^{2+} , режим общей и карбонатной щёлочности в почвенном растворе.

Проведенное на основе сопряженного изучения водных вытяжек и почвенных растворов исследование Зимовца Б.А. и Кауричевой З.Н. (1976) позволило уточнить химизм и степень засоления солонцовых и каштановых почв. В результате данного исследования была разработана классификация (таблица) засоления почв сухостепной зоны по концентрации и составу солей в почвенных растворах.

Таблица

Степень засоления тяжелосуглинистых почв Нижнего Заволжья по концентрации солей в почвенных растворах при влажности, соответствующей ПВ, г/л (Зимовец, Кауричева, 1976)

Степень засоления почв	Состав солей	
	хлоридный	сульфатный
Незасолённые	< 2,1	< 2,5
Слабозасолённые	2,1–4,5	2,5–5,4
Среднезасолённые	4,5–8,2	5,4–10,9
Сильнозасолённые	8,2–20,6	10,9–21,7
Очень сильнозасолённые	> 20,6	> 21,7

Зимовец Б.А. (1981) провел многолетние наблюдения за составом и концентрацией почвенных растворов орошаемых солонцов Заволжья, а также полевые опыты с литием в качестве метки. Это позволило ему обосновать положение, что в засолении почв солонцовых комплексов важную роль играют процессы внутрипочвенной пространственной (в том числе горизонтальной) миграции солей в зоне аэрации от лугово-каштановых почв микропонижений рельефа к микроповышениям (солонцам). Данная миграция солей приводит к формированию солонцовых комплексов. В пределах солонцового пятна легкорастворимые соли мигрируют от периферии к центру (Зимовец, 1984).

Исследуя почвенные растворы солонцовых почв Ростовской области, Минкин М.Б. и Ендовицкий А.П. (1978) большое внимание уделили карбонатно-кальциевому равновесию. Их исследования показали, что значительная перенасыщенность почвенных растворов карбонатом кальция связана с образованием ионных пар CaCO_3 , CaHCO_3 , MgCO_3 , MgHCO_3 , NaCO_3 и влиянием ионной силы раствора. Принимая во внимание эти факторы, почвенные растворы степных солонцов, как правило, оказываются ненасыщенными, а луговых и лугово-степных – перенасыщенными CaCO_3 . Эти авторы также указывают, что сульфатно-кальциевый резерв для нейтрализации соды в значительной степени определяется состоянием карбонатно-кальциевой системы. Поэтому, при расчётах количества гипса, необходимого для нейтрализации соды, следует знать возможное предельное значение перенасыщения растворов CaCO_3 , при котором наступает химическое осаждение. Аналогично складывается ситуация с содоустойчивостью почв: чем выше возможная предельная величина перенасыщения, при которой начинается выделение CaCO_3 , тем ниже содоустойчивость. Вследствие этого, содоустойчивость луговых солонцов гораздо ниже, чем степных (Минкин, Ендовицкий, 1978).

Другое исследование этих авторов (Ендовицкий, Минкин, 1986) дало возможность смоделировать механизм воздействия ассоциации ионов на протонное равновесие карбонатной системы, а также вскрыть ведущую роль ассоциации в формировании условно-перенасыщенных растворов CaCO_3 . Помимо этого, результаты данной работы определили те первоочередные

проблемы, которые необходимо решить для совершенствования модели карбонатно-кальциевой системы почвенных растворов.

Ендовицким А.П. с соавторами (2009) проведены термодинамические расчёты содержания тяжёлых металлов (Pb и Cd) в почвенных растворах лугового и лугово-степного солонцов юга европейской части России. Было установлено, что активность свинца и кадмия во много раз ниже общей концентрации этих металлов в растворе, по причине ассоциации Pb^{2+} и Cd^{2+} с карбонатными и другими анионами и образования $PbOH^+$ и $CdOH^+$. Это является одной из причин низкого поступления данных катионов в растения на карбонатных почвах.

Благодаря комплексному изучению Быстрицкой Т.Л. с соавторами (1988) солонцевато-слитых черноземов, включая и почвенные растворы, была обоснована неэффективность химической мелиорации и доказано её отрицательное влияние на данные почвы. Это связано с тем, что мелиорация направлена на коррекцию структуры ППК, а главные отрицательные свойства этих почв, как утверждают авторы, заключаются в их слитоземной природе, для ликвидации которой нужны принципиально иные мелиоративные приемы. Неэффективность химической мелиорации, возможно, является региональной особенностью данных слитых почв, так как другие исследователи (Воропаева и др., 2011; Семендяева и др., 2014), изучавшие влияние химической мелиорации на свойства солонцов Западной Сибири в течение длительного времени, отмечают, напротив, эффективность мелиорации даже при её однократном применении.

Для прогнозирования реальной концентрации и химического состава почвенного раствора в различном диапазоне влажности почвы проводилось изучение почвенных растворов солонцовых почв (Csillag, Redly, 1989). Состав и концентрация почвенных растворов сравнивали с экстрактами насыщенных почвенных паст. Было показано, что при повышении содержания влаги увеличивается количество $NaHCO_3$ в растворе. С уменьшением влажности почвы концентрация ионов и степень электростатических взаимодействий в растворе увеличиваются. Авторами установлена зависимость концентраций ионных пар и активности свободных ионов от влажности почвы и доказано, что вычисленные значения активности свободных ионов Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} хорошо согласуется с данными, полученными при измерении ионоселективными электродами при различной влажности почвы.

В другом исследовании (Csillag et al., 1995) показано, что в результате электростатических взаимодействий ионов реальное значение SAR (sodium adsorption ratio) в засоленных почвах (солонцах) выше, чем определяется в экстрактах почвенных паст. С увеличением влажности почвы этот показатель падает, например, при приготовлении водной вытяжки. Увеличение абсолютной и относительной концентраций натрия в почвенном растворе с уменьшением влажности почвы смещает процессы ионообмена в пользу натрия, тем самым способствуя процессам солонцеобразования.

Сеньков А.А. (2004), проведя сопряженный анализ почвенных растворов и твёрдой фазы степных почв юга Ишимской равнины, выразил сомнение по поводу общеизвестной эволюционной схемы: многонатриевые солонцы → малонатриевые солонцы → зональные почвы. Он предположил, что для данной территории более вероятным является обратное направление эволюции: южный чернозем → солонцеватый чернозем → малонатриевый солонец. В своем исследовании автор высказывает предположение о ведущей роли атмосферных осадков в формировании солевых профилей и пород зоны аэрации Ишимской равнины. Согласно этому концепции, в процессе почвообразования легкорастворимые соли, содержащиеся в материнских породах, были заменены или дополнены солями атмосферных осадков.

В других работах (Сеньков, 2005; Сеньков, Попов, 2017), при сравнении почвенных растворов солонцов с рядом расположенными незасоленными почвами, делается предположение о негалломорфном происхождении солонцов. В незасоленной части профиля зональных почв на месте будущего солонцового горизонта происходит накопление и синтез гидрофильных коллоидов и высокомолекулярных соединений под действием элювиально-иллювиальных процессов. Параллельно с этими процессами в иллювиальном горизонте увеличивается плотность и слитизация в результате набухания и усадки. Вследствие уменьшения фильтрационной способности формирующегося солонцового горизонта ухудшается солевая вентиляция, что приводит к активизации соленакопления в верхних горизонтах почвы, как за счет атмосферных солей, так и солей нижних, ранее засоленных горизонтов. В этом случае обменный натрий является не причиной процесса осолонцевания, а его следствием.

Славный Ю.А. (2003), изучая почвенные растворы солонцовых почв Прикаспийской низменности и граничащих с ней возвышенностей (Приволжской, Ергенинской и Сыртов), установил два главных типа галогенеза данной территории. Химический анализ почвенных растворов показывает, что почвам автоморфных ландшафтов присущ хлоридный тип, а почвам полугидроморфных и гидроморфных ландшафтов – сульфатный тип засоления. Такие отличия в химизме автор объясняет разными доминирующими источниками поступления солей в почвы. В условиях автономного почвообразования, соли в почвы поступают только из атмосферных осадков и пыли, а стадия засоления от грунтовых вод отсутствовала. При этом автор указывает, что последующее рассоление засоленных почв и образование солонцов произошло по классической теории Гедройца К.К. По причине продолжающегося процесса рассоления, площади засоленных солонцовых почв уменьшаются (Славный, 2001).

Принципиально иной химизм почвенных растворов гидроморфных и полугидроморфных территорий. Здесь главным источником солей являются грунтовые воды, а тип засоления растворов сульфатно-натриевый ($\text{Na}^+ > \text{Cl}^-$, но $\text{Na}^+ < \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$). В гидрогенных условиях, эоловый источник, как правило, играет подчиненную роль, но может иметь и доминирующее значение. Например, в специфических природных условиях Центральной Якутии и Западной Сибири, в которых с повышенных элементов рельефа происходит приток солей эолового генезиса в понижения поверхностным и внутрипочвенным стоком (Славный, 2005).

При изучении почвенных растворов солонцов Венгрии на территории Куманской равнины (Sinka et al., 2019), исследователи использовали 12 дренажных лизиметров, половину из которых орошали засоленной колодезной водой, другую половину – дистиллированной. При этом авторам важно было изучить возможности выращивания солечувствительной культуры (*Phaseolus vulgaris*) в районах с неблагоприятными агроэкологическими условиями. На основании полученных данных авторы делают вывод, что орошение почвы соленой водой должно быть строго дозировано потребностью выращиваемой культуры. Чрезмерное орошение увеличивает риск вторичного засоления, избежать которое возможно при правильной частоте полива, а также применяя почвенный кондиционер. При этом на солонцовых почвах меньшая частота полива и кондиционирование почвы привели к повышению урожайности и улучшению морфологических свойств выращиваемой культуры.

Изучая ассоциации ионов в почвенном растворе каштановых солонцов юга России (Batukaev et al., 2016), исследователи делают вывод, что при высокой ионной силе в почвенном растворе образуются электронейтральные пары ионов CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 , MgSO_4 , а также пары заряженных ионов CaHCO_3^+ , MgHCO_3^+ , NaCO_3^- , NaSO_4^- , CaOH^+ , MgOH^+ . Ассоциации ионов показывают, что термодинамические предпосылки осаждения CaCO_3 в зоне аэрации почвы возникают при значительно более высокой концентрации ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} в почвенном растворе, чем считалось ранее. Следовательно, существует значительная вероятность высокой подвижности CaCO_3 в ландшафте, что ранее недооценивалось. Миграция углерода из почвы через зону аэрации связана с высокой подвижностью углерода в форме карбонатов в почвенном растворе, так как почвенные геохимические барьеры для карбонатов, вероятно, недостаточно устойчивы.

Попов В.В. (2019) провел полнопрофильное исследование зональных особенностей состава и свойств почвенных растворов солонцовых почв Ишимской равнины. Им показано, что с севера на юг территории наблюдается увеличение общей минерализации почвенных растворов от 3 г/л в северной лесостепи до 20 г/л в степной зоне за счёт увеличения количества хлоридных и сульфатных солей. Вместе с этим, в широтном плане изменяется и химизм засоления. Выявлено, что по соотношению катионов в почвенных растворах во всех солонцовых почвах преобладает Na^+ . Его доля среди других катионов варьирует от 46 до 98%. Вместе с тем, в зональном аспекте с увеличением аридности климата наблюдается снижение доли Na^+ и увеличение доли Ca^{2+} (до 15%) и, особенно, Mg^{2+} (до 37%). Вследствие изменения химического состава почвенных растворов в пределах Ишимской равнины, содовые солонцы на севере территории сменяются солонцами нейтральными на юге. Показано, что химический состав и концентрация почвенных растворов определяют долю Ca^{2+} и долю Na^+ в ППК почвы. Установлена тесная взаимосвязь между содержанием катионов Ca^{2+} ($R^2 = 0,9$) и Na^+ ($R^2 = 0,8$) в почвенном растворе и их содержанием в ППК всех исследуемых почв.

При исследовании почв сухой степи (Kalinichenko et al., 2021), авторами был проведен модельный эксперимент по определению термодинамического состояния основных компонентов

солей в почвенном растворе солонцовых почв. Ионная сила почвенного раствора была низкой в верхних горизонтах почвы (0-10, 20-30 см), где преобладали свободные ионы, но высокой в переходных горизонтах (глубина 30-40, 40-50, 60-70 см) и в материнской породе (глубина 140-150, 170-180 см). Значительная часть ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} присутствовала в виде ассоциированных ионных пар. Содержание CO_3^{2-} в ионных парах превышало содержание ионов в свободной форме в 5,5–7,0 раз. Ассоциация ионов Na^+ и HCO_3^- была незначительной во всех почвенных горизонтах; также не было выявлено и ассоциации ионов Cl^- . На основе математического моделирования проведена количественная оценка содержания и режима свинца в почвенном растворе. Доля ассоциатов Pb в почвенном растворе составляла 75-80% для Ca^{2+} и 60-70% для Mg^{2+} . Содержание ассоциированных анионов достигало для карбонатов 92-98%, а для сульфатов – 65-75%. Основная доля связанных ионов Pb^{2+} находилась в виде гидроксокомплексов PbOH^+ и $\text{Pb}(\text{OH})_2$ – до 90–95%. Количество карбонатных ассоциатов $\text{PbCO}_3 + \text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$ и гидрокарбонатных ассоциатов PbHCO_3^+ были ниже содержания гидроксокомплексов в 20–30 раз. Расчетная активность иона Pb^{2+} в почвенном растворе составила менее 3%. Вероятность неконтролируемого переноса и накопления свинца в почве и зоне аэрации оказалась высокой.

Таким образом, работы, посвященные изучению почвенных растворов солонцовых почв естественной влажности, весьма немногочисленны. В виду трудностей, связанных с извлечением раствора из плотных горизонтов солонцовых почв, имеющиеся работы в основном посвящены генетическим и галохимическим вопросам. Развитие технологий и совершенствование методик изучения почвенных растворов, в целом, не решили эти методологические трудности. Вероятно поэтому изучение почвенных растворов солонцов не получило широкого развития. Тем не менее, в последнее время растет интерес к исследованиям, находящимся на стыке почвенного генезиса и гидрогеологии для лучшего понимания почвы, как компонента ландшафта (Narashimhan, 2005; Schoeneberger, Wysocki, 2005; Linn, 2009). Принимая во внимание то, что многие ключевые вопросы генезиса и мелиорации солонцов остаются открытыми (Miller, Brierley, 2011; Минкин и др., 2012; Яцынин, 2012), изучение почвенных растворов солонцовых почв следует активно развивать.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700316-9) и при поддержке РФФИ (грант № 21-55-75002).

ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрицкая Т.Л., Губин С.В., Тюльпанов В.И., Скрипниченко И.И. Влияние химической мелиорации на свойства солонцевато-слистых черноземов Ставрополя // *Почвоведение*. 1988. № 11. С. 108–118.
2. Воропаева З.И. Участие грунтовых вод в перераспределении продуктов обмена при химической мелиорации солонцов // Труды Омского сельскохозяйственного института. Омск, 1982. С. 10–17.
3. Воропаева З.И. Особенности солевого режима и динамики оснований мелиорированных солонцов Западной Сибири: Автореф. дисс. ... к.б.н. Новосибирск, 1990. 22 с.
4. Воропаева З.И., Троценко И.А., Парфенов А.И. Изменение свойств коркового солонца содового засоления при проведении однократной и повторной мелиорации фосфогипсом // *Почвоведение*. 2011. № 3. С. 346–357.
5. Ендовицкий А.П., Калинин В.П., Ильин В.Б., Иваненко А.А. Коэффициенты ассоциации и активность ионов кадмия и свинца в почвенных растворах // *Почвоведение*. 2009. № 2. С. 218–225.
6. Ендовицкий А.П., Минкин М.Б. Современные проблемы термодинамики карбонатной системы почвенных растворов // *Почвоведение*. 1986. № 11. С. 76–88.
7. Зимовец Б.А. Распределение солей в почвах солонцовых комплексов // *Почвоведение*. 1981. № 1. С. 126–135.
8. Зимовец Б.А. Засоленные почвы сухостепной зоны Поволжья и их освоение: Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. М., 1984. 52 с.
9. Зимовец Б.А., Кауричева З.Н. Определение степени и типа засоления почв по почвенным растворам и водным вытяжкам в сухостепной зоне Нижнего Заволжья // *Орошаемые почвы и методы их изучения*. Ташкент, 1976. С. 72–83.
10. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. Т.1. 573 с.
11. Комарова Н.А. Методы выделения почвенных растворов. Сборник: Физико-химические методы исследования почв. Наука, 1968. С. 7–31.
12. Минкин М.Б., Ендовицкий А.П. Карбонатно-кальциевое равновесие в почвенных растворах солонцов // *Почвоведение*. 1978. № 9. С. 125–132.

13. Минкин Т.М., Ендовицкий А.П., Калининченко В.П., Федоров Ю.А. *Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва*. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. 376 с.
14. Окорков В.В. О факторах пептизируемости солонцовых почв // *Владимирский земледелец*. 2020. № 4 (94). С. 21–32. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10141.
15. Попов В.В. *Зональные изменения почвенных растворов солонцовых почв Ишимской равнины*. Дисс. ... к.б.н. Новосибирск, 2019. 177 с.
16. Семендяева Н.В., Воропаева З.И. *Соотношение между почвенными растворами и водными вытяжками из мало- и многонатриевых солонцов лесостепи Омской области* // Труды Омского сельскохозяйственного института. Омск, 1971. № 93. С. 87–92.
17. Семендяева Н. В., Елизаров Н.В. Солевой состав грунтовых вод и длительно мелиорированных солонцов Барабы // *Почвоведение*. 2017. № 10. С. 1220–1228. DOI: 10.7868/S0032180X17100100
18. Семендяева Н.В., Коробова Л.Н., Елизаров Н.В. Изменение свойств и биологической активности солонцов корковых Барабинской низменности при длительном действии гипса // *Почвоведение*. 2014. № 11. С. 1325. DOI: 10.7868/S0032180X14110112
19. Сеньков А.А. *Ионно-солевой состав почвенных растворов и водных вытяжек* // Почвообразование и антропогенез: структурно-функциональные аспекты. Новосибирск: Наука, 1991. С. 156–167.
20. Сеньков А.А. *Галогенез степных почв (на примере Ишимской равнины)*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 152 с.
21. Сеньков А.А. Генезис степных солонцов // *Вестник Томского государственного университета*. 2005. № 15. С. 123.
22. Сеньков А.А., Попов В.В. Генезис солевого профиля солонцовых почв юга Ишимской равнины // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2017. № 1. С. 107–115.
23. Синяевский И.В. Солевой режим почв лесостепного Зауралья // *АПК России*. 2016. Т. 75. № 1. С. 186–194.
24. Славный Ю.А. К теории образования автоморфных солонцов // *Почвоведение*. 2001. № 5. С. 517–521.
25. Славный Ю.А. Галогенез Нижнего Поволжья // *Почвоведение*. 2003. № 1. С. 3–12.
26. Славный Ю.А. Эоловое соленакопление в почвах автономных ландшафтов засушливых зон // *Почвоведение*. 2005. № 4. С. 389–397.
27. Шаврыгин П.И. О токсичности концентраций почвенных растворов в Барабинской низменности // *Почвоведение*. 1963. № 1. С. 85–92.
28. Шоба В.Н., Сеньков А.А. Равновесный состав и свойства растворов почв // *Почвоведение*. 2011. № 10. С. 1168–1177.
29. Яцынин М.Н., Яцынин Н.Л. *Противоречия мицеллярной теории естеству генезиса и мелиорации солонцов*. Сб. научных трудов SWorld. Одесса: 2012. Т. 45. С. 88.
30. Alves A., Souza E., Melo H., Pinto J., Junior F., Júnior V., Marques F., Santos M., Schaffer B., Gheyi H. Comparison of solution extraction methods for estimating electrical conductivity in soils with contrasting mineralogical assemblages and textures // *Catena*. 2022. Vol. 218. No. 3. P. 106581. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106581>
31. Batukaev A.-M., Endovitsky A., Andreev A., Kalinichenk, V., Minkina T., Dikaev Z., Mandzhieva S., Sushkova S. Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // *Solid Earth*. 2016. No. 7. P. 415–423. <https://doi.org/10.5194/se-7-415-2016>, 2016.
32. Böckmann S., Titov I., Gerken M. Extraction of Soil Solution into a Microfluidic Chip // *AgriEngineering*. 2021. Vol. 3. P. 783–796. DOI: 10.3390/agriengineering3040049.
33. Bonito M.D. *Trace elements in soil pore water: a comparison of sampling methods*. Theses of PhD, University of Nottingham, England, 2005. 298 p.
34. Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. *Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling*. Springer Berlin Heidelberg, 1982. 236 p.
35. Csillag J., Toth T., Redly M. Relationships between soil solution composition and soil water content of Hungarian salt-affected soils // *Arid Soil Research and Rehabilitation*. 1995. Vol. 9. No. 3. P. 245–260. DOI: 10.1080/15324989509385893.
36. Csillag J., Rédly M. Study of the liquid phase of the soil as a multicomponent electrolyte solution // *Agrokémia és Talajtan*. 1989. Vol. 38. P. 657–673. http://real.mtak.hu/97816/1/at_1989_38_3-4_657-673.pdf (дата обращения 10.12.2022)
37. Duarte H.H.F., Souza E.R. Soil Water Potentials and Capsicum annum L. under Salinity // *Revista Brasileira de Ciência do solo*. 2016. Vol. 40. P. e0150220. DOI: 10.1590/18069657rbc20150220.
38. Hossain M.S., Rahman G.M., Solaiman A.R.M., Alam M.S., Rahman M.M., Mia M.B. Estimating electrical conductivity for soil salinity monitoring using various soil-water ratios depending on soil texture // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020. Vol. 51. No. 5. P. 635–644. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378>
39. Kalinichenko V., Glinushkin A., Swidsinski A., Minkina T., Andreev A., Mandzhieva S., Sushkova S., Makarenkov D., Ilyina, L., Chernenko V., Zamulina I., Larin G., Gudkov S. Thermodynamic mathematical model of the Kastanozem complex and new principles of sustainable semiarid protective silviculture management // *Environmental Research*. 2021. No. 194. P. 110605. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110605.

40. Linn H.S. Earth's critical zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances // *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*. 2009. Vol. 6. P. 3417–3481. <https://hess.copernicus.org/preprints/6/3417/2009/hessd-6-3417-2009.pdf> (дата обращения 10.12.2022)
41. Miller J., Brierley J. Solonetzic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification // *Canadian Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 91. P. 889–902. DOI: 10.4141/cjss10040.
42. Narashimhan T.N. Pedology: a hydrogeological perspective // *Vadose Zone Journal*. 2005. Vol. 4. P. 891–898.
43. Sinka L., Takacs-Hajos M., Czeller K., Tuba G., Zsembeli J. Investigation of the possibility of green bean production under unfavourable agro-ecological conditions in lysimeters // *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*. 2019. Vol. 11. P. 72–82. DOI: 10.2478/ausae-2019-0007.
44. Schoeneberger P.J., Wysocki D.A. Hydrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management // *Geoderma*. 2005. Vol. 126. P. 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.010>

Поступила в редакцию 21.10.2022

Принята 15.11.2022

Опубликована 15.12.2022

Сведения об авторе:

Попов Владимир Викторович – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); popov@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

SOIL SOLUTION STUDIES IN SOLONETZ SOILS: REVIEW OF THE RESULTS

© 2022 V. V. Popov

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: popov@issa-siberia.ru

The article provides an overview of the main results of research devoted to soil solutions of solonetz soils obtained by centrifugation, pressing, displacement by a replacement fluid and lysimetry. Due to the difficulties of extracting soil solution from the dense horizons of solonetz soils, the available publications are few. Nevertheless, recently there has been increasing interest to such research, especially at the interface of pedogenesis and hydrogeology, in order to get a better insight into soil processes as shaped by landscape specifics. Since many aspects of solonetz genesis and melioration are still poorly understood, detailed studies of soil solutions in solonetz soils are urgently needed.

Key words: soil solution; solonetz; saline soils; liquid phase of soils; centrifugation; lysimetry

How to cite: Popov V.V. Soil solution studies in solonetz soils: review of the results // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(4). e189. DOI: [10.31251/pos.v5i4.189](https://doi.org/10.31251/pos.v5i4.189) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Bystritskaya T.L., Gubin S.V., Tyulpanov V.I., Skripnichenko I.I. The properties of solonetzic swell-shrink chernozems of stavropol region as affected by chemical amelioration, *Pochvovedenie*, 1988, No. 11, p. 109–118. (in Russian)
2. Voropaeva Z.I. Participation of groundwater in the redistribution of metabolic products during the chemical reclamation of solonetz. In book: Proceedings of the Omsk Agricultural Institute, Omsk, 1982, p. 10–17. (in Russian)
3. Voropaeva Z.I. Peculiarities of the salt regime and dynamics of exchangeable bases in reclaimed solonetz of Western Siberia: Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 1990, 22 p. (in Russian)
4. Voropaeva Z.I., Trotsenko I.A., Parfenov A.I. Changes in the properties of a crusty solonetz with soda salinization after single and repeated amelioration with phosphogypsum, *Eurasian Soil Science*, 2011, Vol. 44, No. 3, p. 314–325.
5. Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Ilyin V.B., Ivanenko A.A. Coefficients of association and activity of cadmium and lead ions in soil solutions, *Eurasian Soil Science*, 2009, Vol. 42, No. 2, p. 201–208.

6. Endovitsky A.P., Minkin M.B. Modern problems of the carbonate system in soil solutions thermodynamics, *Pochvovedenie*, 1986, No. 11, p. 76–88. (in Russian)
7. Zimovets B.A. Distribution of salts in soils of solonetzic complexes, *Pochvovedenie*, 1981, No. 1, p. 126–135. (in Russian)
8. Zimovets B.A. *Saline soils of the dry steppe zone of the Volga region and their development*: Abstract of Dissertation ... Dr. of agricultural sciences. Moscow, 1984, 52 p. (in Russian)
9. Zimovets B.A., Kauricheva Z.N. *Determination of the degree and type of soil salinization by soil solutions and water extracts in the dry steppe zone of the Lower Trans-Volga*. In book: *Irrigated soils and methods of their study*. Tashkent, 1976, p. 72–83. (in Russian)
10. Kovda V.A. *Origin and regime of saline soils*. Moscow-Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1946, Vol. 1, 573 p. (in Russian)
11. Komarova N.A. *Methods for isolation of soil solutions*. Collection: Physical and chemical methods of soil research. Nauka, 1968, p. 7–31. (in Russian)
12. Minkin M.B., Endovitsky A.P. Calcium carbonate balance in soil solutions of solonetztes. *Pochvovedenie*, 1978, No. 9, p. 125–132. (in Russian)
13. Minkina T.M., Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Fedorov YU.A. *Calcium carbonate equilibrium in the water-soil system*. Rostov-on-Don, Izd. Yuzhnogo Federalnogo Universiteta, 2012, 376 p. (in Russian)
14. Okorkov V.V. On factors of solonetztes soil peptization, *Vladimirskiy zemledelets*, 2020, No. 4 (94), p. 21–32. DOI: 10.24411/2225-2584-2020-10141. (in Russian)
15. Popov V.V. *Zonal changes in soil solutions of solonetzic soils of the Ishim Plain*. Diss. Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2019, 177 p. (in Russian)
16. Semendyaeva N.V., Voropaeva Z.I. *Correlation between soil solutions and water extracts from low- and high-sodium solonetztes of the forest-steppe of the Omsk region*. In book: *Proceedings of the Omsk Agricultural Institute*, Omsk, 1971, No. 93, p. 87–92. (in Russian)
17. Semendyaeva N.V., Elizarov N.V. Salt composition of groundwater and reclaimed solonetztes in the Baraba lowland // *Eurasian Soil Science*, 2017, Vol. 50, No. 10, p. 1177–1185. <https://doi.org/10.1134/S1064229317100106>
18. Semendyaeva N.V., Korobova L.N., Elizarov N.V. Changes in the properties and biological activity of crusty solonetztes in the Baraba lowland under the long-term impact of gypsum // *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 11, p. 1116–1122. DOI: 10.1134/S1064229314110118
19. Senkov A.A. *Ion-salt composition of soil solutions and water extracts*. In book: *Soil formation and anthropogenesis: structural and functional aspects*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1991, p. 156–167. (in Russian)
20. Senkov A.A. *Halogenesis of steppe soils (on the example of the Ishim plain)*. Novosibirsk: Publ. House SB RAS, 2004, 152 p. (in Russian)
21. Senkov A.A. Genesis of steppe solonetztes, *Bulletin of the Tomsk State University*, 2005, No. 15, p. 123. (in Russian)
22. Senkov, A.A., Popov V.V. Genesis of the salt profile of solonetzic soils in the south of the Ishim plain, *Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2017, No. 1, p. 107–115. (in Russian)
23. Sinyavsky I.V. Salt regime of the forest-steppe soils of the Trans-Urals, *Agro-industrial complex of Russia*, 2016, Vol. 75, No. 1, p. 186–194. (in Russian)
24. Slavnyi Yu.A. On the theory of automorphic solonetztes formation, *Eurasian Soil Science*, 2001, Vol. 34, No. 5, p. 455–459.
25. Slavnyi Yu.A. Halogenesis in soils of the lower Volga region. *Soil Science, Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 36, No. 1, p. 1–10.
26. Slavnyi Yu.A. Eolian accumulation of salts in the soils of autonomous landscapes of arid zones, *Eurasian Soil Science*, 2005, Vol. 38, No. 4, p. 341–348.
27. Shavrygin P.I. On the toxicity of soil solution concentrations in the Baraba Lowland, *Pochvovedenie*, 1963, No. 1, p. 85–92. (in Russian)
28. Shoba V.N., Senkov A.A. Equilibrium composition and properties of soil solutions, *Eurasian Soil Science*, 2011, Vol. 44, No. 10, p. 1068–1076.
29. Yatsynin M.N., Yatsynin N.L. *Micellar theory contradicts the nature of the genesis and reclamation of solonetztes*. Sat. scientific works of SWorld. Odessa: 2012, Vol. 45, p. 88. (in Russian)
30. Alves A., Souza E., Melo H., Pinto J., Junior F., Júnior V., Marques F., Santos M., Schaffer B., Gheyi H. Comparison of solution extraction methods for estimating electrical conductivity in soils with contrasting mineralogical assemblages and textures, *Catena*, 2022, Vol. 218, No. 3, p. 106581. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106581>
31. Batukaeva A.-M., Endovitsky A., Andreev A., Kalinichenko V., Minkina T., Dikaev Z., Mandzhieva S., Sushkova S. Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink, *Solid Earth*, 2016, No. 7, p. 415–423. <https://doi.org/10.5194/se-7-415-2016>, 2016.
32. Böckmann S., Titov I., Gerken M. Extraction of Soil Solution into a Microfluidic Chip, *AgriEngineering*, 2021, Vol. 3, p. 783–796. DOI: 10.3390/agriengineering3040049.
33. Bonito M.D. *Trace elements in soil pore water: a comparison of sampling methods*. Theses of PhD, University of Nottingham, England, 2005, 298 p.

34. Bresler E., McNeal B.L., Carter D.L. *Saline and Sodic Soils: Principles-Dynamics-Modeling*. Springer Berlin Heidelberg, 1982, 236 p.
35. Csillag J., Toth T., Redly M. Relationships between soil solution composition and soil water content of Hungarian salt-affected soils, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1995, Vol. 9, No. 3, p. 245–260. DOI: 10.1080/15324989509385893.
36. Csillag J., Rédly M. Study of the liquid phase of the soil as a multicomponent electrolyte solution, *Agrokémia és Talajtan*, 1989, Vol. 38, p. 657–673. http://real.mtak.hu/97816/1/at_1989_38_3-4_657-673.pdf (assessed on 10/12/2022)
37. Duarte H.H.F., Souza E.R. Soil Water Potentials and Capsicum annum L. under Salinity, *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 2016, Vol. 40, p. e0150220. DOI:10.1590/18069657rbc20150220.
38. Hossain M.S., Rahman G.M., Solaiman A.R.M., Alam M.S., Rahman M.M., Mia M.B. Estimating electrical conductivity for soil salinity monitoring using various soil-water ratios depending on soil texture, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2020, Vol. 51, No. 5, p. 635–644. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729378>
39. Kalinichenko V., Glinushkin A., Swidsinski A., Minkina T., Andreev A., Mandzhieva S., Sushkova S., Makarenkov D., Ilyina, L., Chernenko V., Zamulina I., Larin G., Gudkov S. Thermodynamic mathematical model of the Kastanozem complex and new principles of sustainable semiarid protective silviculture management, *Environmental Research*, 2021, No. 194, p. 110605. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110605.
40. Linn H.S. Earth's critical zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances, *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 2009, Vol. 6, p. 3417–3481. <https://hess.copernicus.org/preprints/6/3417/2009/hessd-6-3417-2009.pdf> (assessed on 10/12/2022)
41. Miller J., Brierley J. Solonchic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification, *Canadian Journal of Soil Science*, 2011, Vol. 91, p. 889–902. DOI: 10.4141/cjss10040.
42. Narashimhan T.N. Pedology: a hydrogeological perspective, *Vadose Zone Journal*, 2005, Vol. 4, p. 891–898.
43. Sinka L., Takacs-Hajos M., Czeller K., Tuba G., Zsembeli J. Investigation of the possibility of green bean production under unfavourable agro-ecological conditions in lysimeters, *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*, 2019, Vol. 11, p. 72–82. DOI: 10.2478/ausae-2019-0007.
44. Schoeneberger P.J., Wysocki D.A. Hydrology of soils and deep regolith: a nexus between soil geography, ecosystems and land management, *Geoderma*, 2005, Vol. 126, p. 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.11.010>

Received 21 October 2022
 Accepted 15 November 2022
 Published 15 December 2022

About the author:

Popov Vladimir Viktorovich – Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); popov@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)