

УДК 631.617:630*114.445.2:631.41

ИЗМЕНЕНИЕ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ СОЛОНЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Кулакова Н.Ю.

ФГБУН «Институт лесоведения» РАН, п/о Успенское, Московская область,
e-mail: nkulakova@mail.ru

В полупустыне Северного Прикаспия солонцы составляют около 25% территории. Главной задачей при хозяйственном освоении почв солонцового комплекса является рассоление и рассолонцевание солонцов. Альтернативой дороговому и часто экологически опасному орошению солонцовых почв являются разработанные на Джаныбекском стационаре ИЛАН РАН приемы агролесомелиорации. Они включают плантажную вспашку, разрушающую солонцовый горизонт и вовлекающую в пахотный слой гипс, залегающий под солонцовым горизонтом, для рассолонцевания солонцов, посадку лесных кулис, собирающих дополнительное количество снега для рассоления почв. В работе исследовались почвы лесомелиоративной системы с узкими 18-метровыми межкулисными пространствами и однорядными кулисами из вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.) (Государственная защитная лесная полоса Чапаевск – Владимировка 1951 г. посадки) и почвы под естественными растительными ассоциациями. Межкулисное пространство практически не использовалось под сельскохозяйственные культуры, но почву ежегодно вспахивали для сокращения потерь влаги и поддержания процессов рассолонцевания. Цель работы заключалась в оценке калийного состояния целинных и мелиорированных солонцов. Показано, что запасы необменного и легкообменного калия в солонцах, расположенных между лесными кулисами, не изменяются, обменного калия – снижаются, а в почве под кулисами запасы всех форм калия увеличиваются. Изученные солонцы характеризуются невысокими величинами ΔK_1 , $AR_{ог}$ и AR_0 по всему профилю. В солонцовых горизонтах значения фактора интенсивности (AR) минимальны по профилю, что связано с уменьшением активности ионов K^+ . В пахотных горизонтах относительно гумусовых горизонтов целинных почв происходит изменение термодинамических показателей – увеличение значений калийного потенциала и буферности почв по отношению к калию, что свидетельствует об ухудшении обеспеченности растений калием.

Ключевые слова: солонцы, Северный Прикаспий, агролесомелиоративные системы, калийное состояние почв

CHANGE IN POTASSIUM STATUS OF SOLONETZES UNDER LONG-TERM AGROFOREST RECLAMATION

Kulakova N.Yu.

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences (ILAN), Uspenskoe, Moscow region,
e-mail: nkulakova@mail.ru*

Solonetztes occupy about 25% of semidesert plain area in Northern Caspian Sea region. The major concern of Solonetz soil complex economic development is desalinization and desolining of solonets. The agroforestry reclamation methods developed at the Dzhanybek Research Station of the Institute of Forestry of the RAS are alternatives to expensive and often ecologically dangerous irrigation of solonetz soils. These include deep-plowing to destroy the solonetzic horizon and admix gypsum lying beneath, to disintegrate solonets, planting shelterbelts to accumulate additional amounts of snow for desalinization of soils. In this paper, we studied the soil of forest-reclamation system with narrow 18-meter inter-cusp spaces and single-row scenes of elm shelterbelts (*Ulmus pumila* L.) of the State protective shelterbelts of Chapaevsk-Vladimirovka (planted in 1951) and the soil under native plant associations. The soil was plowed annually to reduce moisture losses and solonetzic alkalinity. The aim of the work was to estimate the potassium status in virgin and reclaimed solonetztes. Due to agroforest reclamation procedures the stocks of non-exchangeable and readily exchangeable potassium in solonetztes located between shelterbelts do not change, the stocks of exchangeable potassium decrease, and the stocks of all forms of potassium in the soil beneath the shelterbelt increase. Studied solonetztes are characterized by low values of ΔK_1 , $AR_{ог}$, and AR_0 throughout the profile. In sodic horizons, values of intensity factor (AR) are minimal in the profile that is associated with decrease in the activity of K^+ ions. In arable horizons thermodynamic parameters are changing compared to humus horizons of virgin soils. The values of potassium potential and soil buffering capacity with respect to potassium increase, which indicates a deterioration in the potassium availability.

Keywords: solonetztes, Northern Caspian Sea region, forest reclamation systems, potassium status of soils

Основной задачей при хозяйственном освоении почв солонцового комплекса является рассоление и рассолонцевание солонцов. Для этой цели на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН в 1950-х гг. были разработаны методы, включающие плантажную вспашку для вовлечения в пахотный слой гипса и рассолонцевания солонцов, посадку лесных

кулис, собирающих дополнительное количество снега для рассоления почв. Эти мероприятия, необходимые для выращивания с/х культур и лесных насаждений [1] без дополнительного орошения, приводят к перераспределению питательных веществ в почвенном профиле [2; 3] и изменению их подвижности. Калий необходим в различных биохимических процессах, спо-

собствующих адаптации растений к засухе и засолению почв: участвует в процессах открытия и закрытия устьиц, поглощения влаги корневыми клетками. Калий конкурирует с натрием в процессе поглощения растениями. Дефицит калия в почве может приводить к усилению потребления натрия, что сопровождается инактивацией ферментов и нарушением метаболизма. Для характеристики калийного состояния почв недостаточно исследование экстенсивных показателей – содержания различных форм элемента в почве. Для оценки доступности растениям калия важным показателем является буферная способность почв по отношению к калию (ПБС^к). Величина ПБС^к представляет собой отношение фактора емкости к фактору интенсивности ($\Delta K_0/AR_0$) и характеризует способность почвы поддерживать в равновесном растворе определенный уровень соотношения $a_{K^+}/a_{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$ при снижении количества калия за счет потребления его растениями и участия в реакциях обмена [4].

Цель работы заключалась в оценке калийного состояния целинных и мелиорированных солонцов: буферности почв по отношению к калию, запасам необменного, обменного и легкообменного калия.

Район исследований находится в глинистой полупустыне Северного Прикаспия. Почвенный покров характеризуется комплексностью. Солонцы занимают от 40 до 50% площади межпадинной равнины [5]. Солевой режим целинных и мелиорированных солонцов подробно исследован [6; 7]. Освещены особенности состояния и динамики нативных экосистем солонцового комплекса [8].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования были почвы под естественными растительными ассоциациями и почвы Государственной защитной лесной полосы Чапаевск – Владимировка (1951 г. посадки). Однорядные кулисы из вяза приземистого (*Ulmus pumila L.*) разделяются 18-метровым межкулисным пространством, которое практически не использовалось под сельскохозяйственные культуры, но ежегодно вспахивалось для сокращения потерь влаги и поддержания процессов рассолонцевания. Мелиорированные почвы находятся как под влиянием агролесомелиоративных приемов, так и под воздействием самих лесных культур, так как корневые системы деревьев распространяются как минимум на 10 м от края кулисы.

Определяли необменный калий по методу Пчёлкина, обменный – по методу Масловой в образцах из верхних генетических горизонтов шести целинных солонцов и девяти мелиорированных (в шести, находящихся в межкулисном пространстве, и трёх – под кулисой вяза приземистого). Легкообменный калий определяли в 0,2 н CaCl₂ вытяжке, ПБС^к – по методу Беккета в образцах из генетических горизонтов трёх целинных и трех мелиорированных солонцов межкулисного пространства и одного солонца под кулисой вяза.

Результаты исследования и их обсуждение

Запасы разных форм калия в исследуемых солонцах

Процесс биогенного накопления калия охватывает верхнюю 30–40 см толщу, в которой находится основная масса корней растений.

К микроповышениям, занятым солонцами, часто приурочены сусликовины, верхняя часть некоторых микроповышений сложена из перемешанного материала более нижних горизонтов [9]. Поэтому солонцы отличаются большим разнообразием свойств верхней части профиля, в частности, характеризуются пестрыми значениями содержания необменного калия (от 11 до 35 ммоль экв/кг в верхней 40 см толще). В условиях агролесомелиорации эта пестрота нивелируется.

Достоверных изменений в накоплении необменных форм калия в пахотных горизонтах межкулисных солонцов относительно соответствующих им по глубине целинных горизонтов не обнаруживается. Запасы необменного калия под кулисой вяза приземистого на всех исследуемых глубинах существенно выше, чем на других участках (табл. 1).

В верхнем слое целинных солонцов мощностью 40 см запасы обменного калия составляют в среднем 36,2 ммоль/га (табл. 1). В мелиорированных солонцах межкулисного пространства эта величина ниже, уменьшение достоверно для слоев 0–3 и 3–20 см. В солонце под кулисой запасы обменного калия в слое 0–40 см в 1,7 раза выше, чем на целине, увеличение достоверно для глубин 3–20 и 20–40 см (табл. 1). Слой аккумуляции обменных форм калия в солонцах соответствует мощности надсолонцового и солонцового горизонтов 0–28 (30) см. Содержание обменного калия в мелиорированных со-

лонцах и в солонцах под целинной растительностью составляет в этом слое от 6 до 10 ммоль экв/кг, что, учитывая тяжело-суглинистый гранулометрический состав почв, позволяет отнести их к оптимально обеспеченным по калию [10].

Достоверных различий в запасах легкообменного калия в 40 см слое мелиорированных солонцов межкулисного пространства и целинных солонцов не обнаруживается, а под кулисой вяза они в 2,6 раза выше (табл. 1).

Термодинамические показатели калийного состояния солонцов

Изотермы обмена, полученные для изучаемых почв, состояли из двух прямолинейных участков, с несколько различающимися углами наклона к оси абсцисс (рисунок), лишь одна изотерма имела прямолинейную форму (горизонт B_{2Ca}). Для расчета термодинамических параметров пользовались несколькими показателями буферности почв. Линейную буферность рассчитывали по линейному уравнению для всех точек изотермы прямолинейной формы или для точек верхнего отрезка изотермы в случаях, когда изотермы состояли из двух отрезков.

Тангенциальную буферность рассчитывали по линейному уравнению для нижних отрезков изотерм, состоящих из двух прямолинейных участков.

Значения AR_{o}^{otg} и AR_{o} . Показатель AR_{o} [$AR_{o} = (a_{K^{+}}/\sqrt{(a_{Ca^{2+}} + a_{Mg^{2+}})})$] в растворе, из которого почва не поглощает и в который не отдает калий [4], определяли как отрезок, отсекаемый продолжением верхней части изотермы на оси абсцисс; показатель AR_{o}^{otg} – как

отрезок, отсекаемый нижней частью изотермы на оси абсцисс. В целинных солонцах в гумусовых горизонтах наблюдаются максимальные значения AR_{o} и AR_{o}^{otg} , что связано с накоплением калия в органических остатках. Значения AR_{o}^{otg} здесь изменяются от 2×10^{-3} до $4,2 \times 10^{-3}$ (моль)^{1/2} (табл. 2).

В солонцовом горизонте целинных почв величины AR_{o} или AR_{o}^{otg} существенно понижаются, что может объясняться участием Na и Mg в реакциях обмена и более низкими значениями активности ионов K^{+} в солонцовых горизонтах, чем в гумусовом и подсолонцовых [11].

Некоторое повышение значений AR_{o}^{otg} в горизонтах, содержащих гипс, может быть связано с осаждением гипса при введении хлорида кальция в систему, содержащую сульфаты натрия, и уменьшением в связи с этим активности ионов кальция. В пахотных горизонтах мелиорированных солонцов значения AR_{o}^{otg} примерно соответствуют средним значениям AR_{o}^{otg} в солонцовом и надсолонцовом горизонтах целинных почв. Исключение составляет участок под кулисой. Здесь на всю глубину пахотного горизонта соотношение $a_{K^{+}}/\sqrt{a_{Ca^{2+}}}$ существенно выше, чем в других разрезах пахотных почв, что связано с накоплением калия.

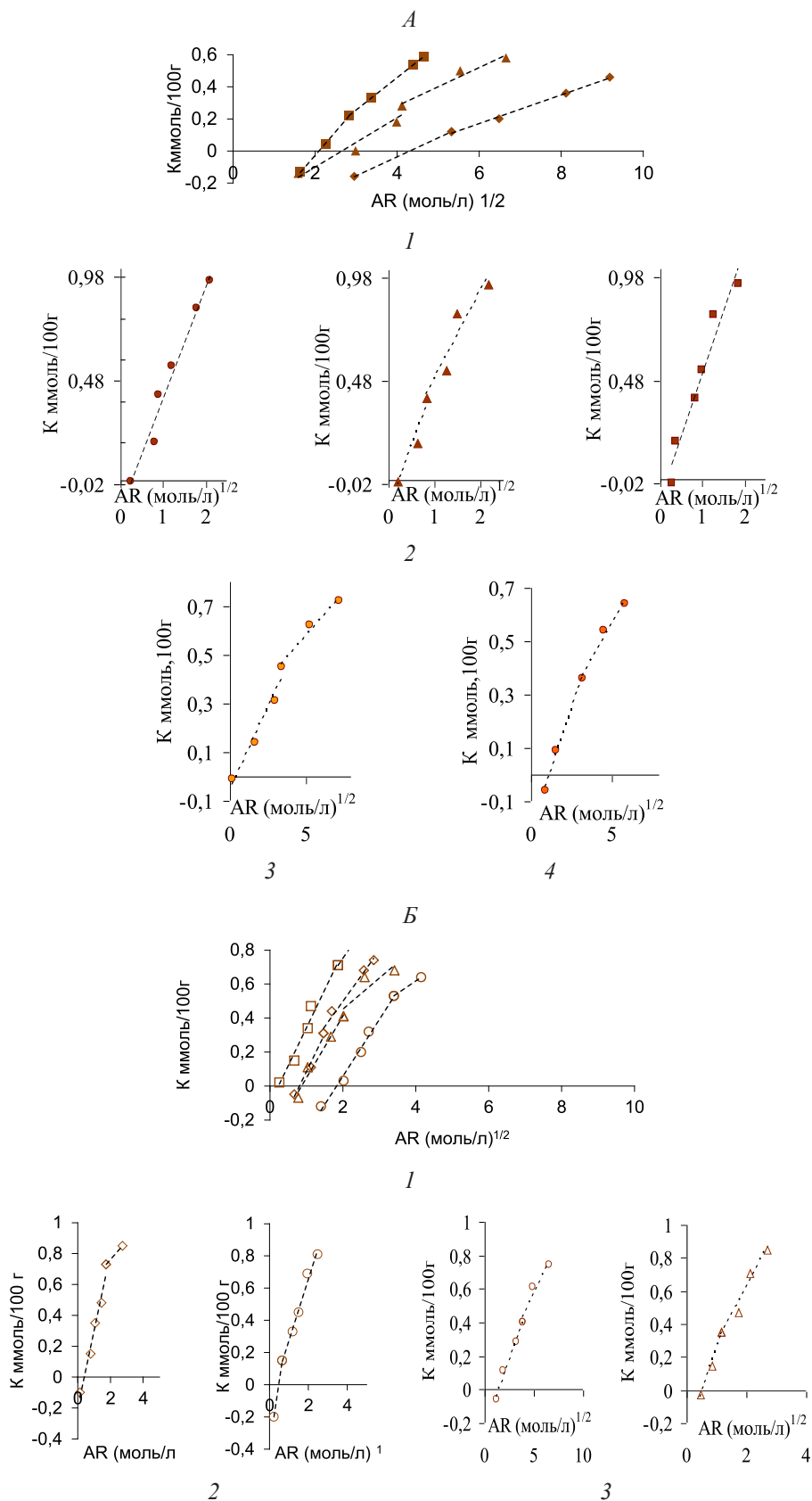
В разрезе мелиорированного солонца участка 6 пахотный горизонт характеризуется такими же низкими значениями AR_{o}^{otg} , как солонцовый горизонт целинных почв, что соответствует и значениям ΔK_L в этом горизонте. Это может быть связано, в частности, с увеличением доли участия солонцового горизонта в формировании этого пахотного слоя.

Таблица 1

Запасы разных форм калия в солонцах, ммоль/га
(показаны доверительные интервалы *при $n = 6$, $\alpha \leq 0,05$, ** при $n = 3$, $\alpha \leq 0,05$)

| Глубина, см | | 0–3 | 3–20 | 20–40 | 0–40 |
|-----------------|-----|------------|-------------|-------------|--------------|
| необменный | | | | | |
| Целинные* | | 10,8 ± 2,2 | 60,8 ± 19,3 | 61,1 ± 10,9 | 132,6 ± 32,7 |
| мелиорированные | A* | 10,2 ± 0,9 | 58,5 ± 4,7 | 63,7 ± 6,4 | 132,4 ± 11,0 |
| | B** | 13,2 ± 1,7 | 87,7 ± 6,7 | 102,1 ± 2,7 | 203 ± 10,5 |
| обменный | | | | | |
| Целина* | | 4,3 ± 0,5 | 16,4 ± 1,7 | 15,6 ± 2,5 | 36,2 ± 1,9 |
| мелиорированные | A* | 2,4 ± 0,1 | 13,7 ± 1,0 | 15,1 ± 0,7 | 31,1 ± 1,7 |
| | B** | 4,2 ± 0,7 | 23,5 ± 1,7 | 25,8 ± 2,1 | 53,5 ± 4,5 |
| легкообменный | | | | | |
| Целина** | | 0,6 ± 0,1 | 1,3 ± 0,5 | 0,7 ± 0,5 | 2,6 ± 0,2 |
| мелиорированные | A** | 0,1 ± 0,1 | 0,9 ± 0,5 | 0,9 ± 0,5 | 2,0 ± 0,8 |
| | B | 0,5 | 2,8 | 3,3 | 6,7 |

Примечание. А – солонцы межкулисного пространства, В – под лесной кулисой.



Изотермы обмена $K^+ - Ca^{2+}$ в солонцах. А – в целинных солонцах: 1 – в гумусовых горизонтах, 2 – в солонцовых горизонтах, 3 – в горизонте $B3_{CaCs}^2$, 4 – в горизонте $B3_{CaCs}^2$. Б – в мелиорированных солонцах: 1 – в пахотных горизонтах, 2 – в горизонтах $B3_{Ca}$, 3 – в горизонтах $B3_{CaCs}^2$

Таблица 2

Термодинамические показатели калийного состояния солонцов

| Условия | № участка | Глубина | Параметры линейной буферности | | | Параметры тангенциальной буферности | | | ΔK_x ммоль/ 100 г | КП | |
|---------|------------|-----------------|--|--|------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------|------|
| | | | ΔK_0 и ΔK_0^* ммоль/ 100 г | $AR_0 \times 10^{-3}$ (моль) ^{1/2} | ПБС ^к | ΔK_L ммоль/ 100 г | $AR_{0lg} \times 10^{-3}$ (моль) ^{1/2} | ПБС ^к или ПБС ^{тг} | | | |
| Целина | 1 | 0–6 | <i>0,37</i> | <i>4,11</i> | <i>90</i> | 0,50 | 4,25 | 120 | 0,13 | 2,37 | |
| | | 6–28 | 0,14 | 0,26 | 536 | | | | – | 3,58 | |
| | | 28–68 | – | – | – | 0,21 | 1,17 | 179 | – | 2,93 | |
| | | 68–140 | – | – | – | 0,06 | 0,43 | 140 | – | 3,36 | |
| | 2 | 0–9 | <i>0,20</i> | <i>1,67</i> | <i>120</i> | 0,41 | 2,73 | 154 | 0,21 | 2,56 | |
| | | 9–33 | – | – | – | 0,16 | 0,27 | 629 | – | 3,57 | |
| | 3 | 0–9 | – | – | – | 0,54 | 2,08 | 260 | – | 2,68 | |
| | | 9–28 | – | – | – | 0,13 | 0,20 | 657 | – | 3,70 | |
| | Мелиорация | Межкулисное пр. | 4 | 0–31 | <i>0,10</i> | <i>0,33</i> | <i>299</i> | 0,55 | 0,94 | 544 | 0,45 |
| | | | 31–40 | – | – | – | 0,20 | 0,30 | 694 | – | 3,52 |
| | | | 40–84 | – | – | – | 0,17 | 0,38 | 448 | – | 3,42 |
| | | | 84–134 | – | – | – | 0,24 | 1,41 | 170 | – | 2,85 |
| 5 | | 0–38 | – | – | – | 0,32 | 0,89 | 360 | – | 3,05 | |
| | | 6 | 0–44 | – | – | – | 0,13 | 0,27 | 488 | – | 3,57 |
| Кулиса | | 7 | 0–43 | – | – | – | 0,60 | 1,83 | 328 | – | 2,74 |
| | | | 43–77 | – | – | – | 0,12 | 0,3 | 397 | – | 3,52 |
| | | | 77–130 | – | – | – | 0,29 | 0,54 | 537 | – | 3,27 |

Примечание. *Курсивом выделены показатели линейной буферности, рассчитанные для верхних прямолинейных участков изотерм. **Жирным шрифтом выделены показатели линейной буферности, рассчитанные для изотермы, имеющей прямолинейную форму.

Все значения калийного потенциала (КП) в солонцовых почвах рассчитывались по показателям AR_{0lg} , полученным при пересечении с осью абсцисс нижних участков изотерм обмена или их продолжений. Только в одном случае, когда изотерма обмена имела прямолинейную форму, использовалось значение AR_0 (табл. 2). На основе величины КП, вычисляемого как $IgAR_0$, возможна классификация почв по обеспеченности растений калием [4]. Значения КП, рассчитанные для гумусовых горизонтов (2,37–2,68), свидетельствуют о недостаточном уровне калийного питания растений в целинных солонцах. В мелиорированных солонцах условия снабжения растений калием ухудшаются, что подтверждается повышенными значениями калийного потенциала (2,74–3,03).

Значения ΔK_0 и ΔK_L . Для изотерм, состоящих из двух участков, имеющих разный угол наклона к оси абсцисс, значения ΔK_0 соответствовали отрезку, отсекаемому на оси ординат продолжением верхнего прямолинейного участка изотермы обмена. Этот показатель характеризует резерв калия на неспецифических адсорбционных позици-

ях [4]. Значения ΔK_L для таких изотерм соответствовали отрезку, отсекаемому на оси ординат продолжением нижнего более крутого участка изотерм обмена. Показатель ΔK_L (табл. 2) отражает содержание калия как на специфических, так и на неспецифических адсорбционных позициях.

Прямая форма изотерм свидетельствует об однородности обменных центров. Так как это суммарное количество обменного калия, переходящего в раствор с обменных позиций, то этот показатель мы назвали ΔKL , так же, как и показатель, характеризующий общее количество обменного калия для изотерм непрямолинейной формы.

В целинных почвах наибольшие значения ΔK_L (0,4–0,54 мг экв/100 г почвы) приходятся на гумусовый надсолонцовый горизонт (табл. 2), в солонцовом и подсолонцовых горизонтах значения ΔK_L уменьшаются (в среднем до 0,19 мг·экв/100 г), что связано с уменьшением притока биогенного калия на глубине и, возможно, с влиянием ионов Na^+ и Mg^{2+} на адсорбцию калия. В условиях агролесомелиорации в пахотных горизонтах межкулисных солонцов значения ΔK_L в среднем составляют

0,3 мг·экв/100 г; в два раза более высокие значения ΔK_L в пахотном горизонте разреза под кулисой вяза приземистого объясняются теми же причинами, что и высокое содержание здесь других форм калия.

Ниже по профилю мелиорированного солонца значения ΔK_L нигде не превышают 0,29 мг·экв/100 г почвы.

Значения ПБС^к. Основная часть экспериментальных точек на графиках изотерм для всех горизонтов расположена над осью абсцисс, т.е. в процессе определения ПБС^к в выбранном диапазоне соотношений активностей K^+ и Ca^{2+} почвы обладают способностью к поглощению калия.

Наименьшие значения буферности свойственны гумусовым горизонтам, а наибольшие значения – солонцовым горизонтам целинных почв (табл. 2). Первый факт объясняется наибольшим в профиле содержанием органического вещества в гумусовых горизонтах. Высокие значения ПБС^к_{tg} и ПБС^к в солонцовых горизонтах целинных солонцов связаны с резким уменьшением значений AR_{otg} и AR_o по сравнению с гумусовыми горизонтами из-за уменьшения величин активности здесь иона K^+ , что, в свою очередь, вызвано снижением активности K^+ в присутствии сульфат-иона и возможным участием в реакциях обмена Na и Mg. Ниже по профилю, в подсолонцовых горизонтах, значения ПБС^к вновь снижаются в соответствии с увеличением значений AR_{otg} в гипсовых горизонтах.

Значения ПБС^к_{tg} пахотных горизонтов выше, чем в гумусовых, и ниже, чем в солонцовых, что соответствует промежуточным значениям величин других показателей и объясняется участием надсолонцового и солонцового горизонтов в формировании пахотного слоя.

Выводы

Изученные солонцы характеризуются невысокими величинами ΔK_L , AR_{otg} и AR_o по всему профилю. В солонцовых горизонтах значения фактора интенсивности (AR) минимальны по профилю, что связано с уменьшением активности ионов K^+ .

По всему профилю в мелиорированных солонцах значения буферности возрастают относительно целинных почв, а значения КП, рассчитанные по величинам AR_{otg} и AR_o , понижаются. В пахотных горизонтах уменьшаются запасы обменного калия. Это свидетельствует об ухудшении условий калийного питания растений по сравнению с солонцами целинных экосистем.

Лесомелиоративные мероприятия на почвах солонцового комплекса не оказывают заметного влияния на содержание и запасы

необменных и легкообменных форм калия в межкулисном пространстве.

Отмечено отчетливое накопление исследованных форм калия непосредственно под кулисой вяза, что можно объяснить изменениями в биологическом круговороте, аккумуляцией кулисой органических остатков и пыли.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00246).

Список литературы / References

1. Сиземская М.Л., Сапанов М.К. Современное состояние экосистем и стратегия адаптивного природопользования в полупустыне Северного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 5 (45). С. 15–24.

Sizemskaya M.L., Sapanov M.K. The Modern Condition of Ecosystems and Strategy of Adaptive Nature Management in Northern Pricaspian Semi-Desert // Arid ecosystems. 2010. V. 16. № 5 (45). P. 15–24 (in Russian).

2. Кулакова Н. Impact of plant species on the formation of carbon and nitrogen stock in soils under semi-desert conditions // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131. Issue 6. P. 1717–1726. DOI: 10.1007/s10342-012-0613-x.

3. Кулакова Н.Ю. Влияние лесомелиорации на содержание основных элементов питания в лугово-каштановой почве западин полупустыни Северного Прикаспия // Агротехника. 2010. № 5. С. 22–28.

N. Yu. Kulakova Effect of Forest Amelioration on the Content of Essential Nutrients in Meadow-Chestnut Soil in Microdepressions of the Northern Caspian Semidesert // Agricultural Chemistry. 2010. № 5. P. 22–28 (in Russian).

4. Соколова Т.А. Калийное состояние почв. М.: МГУ, 1987. 48 с.

Sokolova T.A. Potash condition of soils. M.: MSU, 1987. 48 p. (in Russian).

5. Роде А.А., Польский М.Н. Почвы полупустыни Северо-Западного Прикаспия и их мелиорация // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: АН СССР, 1960. Т. 56. С. 3–214.

Rode A.A., Polish M.N. Soils of the semi-desert of Northwest Prikaspiya and their melioration // Works of Soil institute. of V.V. Dokuchayev. M.: Academy of Sciences of the USSR, 1960. V. 56. P. 3–214 (in Russian).

6. Сиземская М.Л. Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: КМК, 2013. 276 с.

Sizemskaya M.L. Modern natural and anthropogenic transformation of soils of the semi-desert of Northern Prikaspiya. M.: KMK, 2013. 276 p. (in Russian).

7. Габченко М.В. Современное состояние засоленности почв солонцового комплекса района Джаньбекского стационара (Северный Прикаспий) // Почвоведение. 2008. № 3. С. 360–370.

Gabchenko M.V. Modern State of Soil Salinity in Solonchets Soil Complexes at the Dzhanybek Research Station in the North Caspian Region. Eurasian Soil Science. 2008. V. 41, № 3. P. 322–332 DOI: 10.1007/s11475-008-3010-1.

8. Сапанов М.К., Сиземская М.Л. Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 307–320.

Sapanov M.K., Sizemskaya M.L. Climate Changes and the Virgin Vegetation Dynamics in the Northern Caspian Lowland // Povolzhskij e'kologicheskij zhurnal. 2015. № 3. P. 307–320 (in Russian).

9. Кулакова Н.Ю., Абатуров В.Д. Elements of Nitrogen Cycle in Landscapes of the Northern Caspian Lowland. Biology Bulletin. 2011. Vol. 38. № 10. P. 992–996. DOI: 10.1134/S1062359011100098.

10. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // Плодородие. 2009. № 4. С. 8–10.

Yakimenko V.N. Estimation of soil potassium status in agrocenoses // Plodorodie. 2009. № 4. P. 8–10 (in Russian).

11. Борзенко С.Г., Дронова Т.Я., Колесников А.В., Соколова Т.А., Толпешта И.И., Сиземская М.Л. Химико-минералогическая характеристика солончакового солонца и лиманной солони // Вестник МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2003. № 3. С. 3–8.

Borzenko S.G., Dronova T.Ya., Kolesnikov A.V., Sokolova T.A., Tolpeshta I.I., Sizemskaya M.L. The chemical and mineralogical characteristic of saline solonetz and lemon malt // Vestnik MGU. Ser. 17: Pochvovedenie. 2003. № 3. P. 3–8 (in Russian).