МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Обзорная статья

УДК 631.445.52

doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181

К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: русские и зарубежные практики

Светлана Александровна Манжина

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Аннотация. Цель: анализ имеющихся в настоящее время подходов к определению химизма и степени засоления почв. В процессе работы исследованы труды российских и зарубежных ученых, российские и зарубежные методические документы в области определения степени и вида засоления земель. Применялись методы анализа, обработки и обобщения данных. **Обсуждение.** Автором сделан ретроспективный анализ российской и зарубежной практики оценки степени и видов солевой деградации почв. Приведены основные показатели, оцениваемые в процессе определения степени и химизма засоления почв, а также методики их определения, общепринятые в России и за рубежом. Выявление этих характеристик имеет большое значение при планировании и проведении мелиоративных мероприятий, ориентированных на повышение плодородия почв, предотвращение их деградации и утраты сельскохозяйственной и коммерческой ценности. **Выводы.** На основании ретроспективного анализа различных возможностей определения и классификации солевой деградации почв сделан вывод о наличии разнообразных методик, ориентированных как на отдельные характеристики почв в целях выявления их неблагоприятного солевого состава, так и на различные подходы к процедурам и методам диагностирования. Основной целью выявления солевого дисбаланса в составе сельскохозяйственных земель является возможность сохранения и улучшения их плодородия, что, несомненно, при наличии их деградации осуществляется за счет проведения мелиоративных мероприятий. В целях выработки единообразия в оценке и толковании данных о солевом составе почв, степени их засоления и необходимости проведения того или иного вида мелиоративных работ необходимо разработать систему показателей, базирующуюся на опыте российских и зарубежных ученых, имеющихся международных практиках. Разработка указанной нормативно-методической документации должна быть ориентирована на международный уровень, учитывать все возможные показатели, влияющие на точность определения, исключая излишнюю детализацию.

Ключевые слова: засоление, степень засоления, химизм засоления, токсичные ионы, обменный натрий, электропроводимость фильтрата

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Review article

On the issue of chemical mechanism and soil salinity degree determination: Russian and foreign practices

Svetlana A. Manzhina

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, manz.svetlana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9322-0843>

Abstract. Purpose: analysis of the currently available approaches to determining the chemical mechanism and degree of soil salinity. In the course of research, the researches of Russian and foreign scientists, Russian and foreign methodological documents in the field of determining the degree and type of land salinization were studied. The methods of data analysis, processing and generalization were used. **Discussion.** The retrospective analysis of the Russian and foreign practices of assessing the degree and types of soil salt degradation was made by the author. The main indicators, assessed in the process of determining the degree and chemistry of soil salinization, as well as the methods for their determination, generally accepted in Russia and abroad, are given. Identification of these characteristics is of great importance in planning and carrying out reclamation activities aimed at increasing soil fertility, preventing soil degradation and loss of agricultural and commercial value. **Conclusions.** Based on a retrospective analysis of various possibilities for determining and classification of soil salt degradation, it was concluded that there are various methods oriented both to individual characteristics of soils in order to identify their unfavorable salt composition, and to different approaches to the procedures and methods of diagnosis. The main purpose of identifying the salt imbalance in agricultural lands composition is the possibility of preserving and improving their fertility, which, undoubtedly is carried out through reclamation measures in the case of their degradation. In order to develop uniformity in assessment and interpretation of data on the salt composition of soils, the degree of their salinity and the need for one or another type of reclamation work, it is necessary to develop a system of indicators based on the experience of Russian and foreign scientists with international practices. The development of the specified regulatory and methodological documentation should be focused on the international level, take into account all possible indicators affecting the accuracy of determination, excluding unnecessary details.

Keywords: salinity, degree of salinity, chemistry of salinity, toxic ions, exchangeable sodium, filtrate electric conductivity

Введение. Засоление почв является одним из видов деградации, принимающих глобальные масштабы распространения [1–4]. Оно характеризуется накоплением растворимых минеральных солей в корнеобитаемом слое (ризосфере) или в других горизонтах профиля почв в количествах более 0,25 % от ее массы, что выводит условия произрастания ряда культивируемых растений за пределы зоны оптимума. Негативное влияние засоленных почв не ограничивается сельскохозяйственным производством и распространяется на природоохранные и ландшафтные проекты, приводя экологические и коммерческие проблемы.

Восстановление потенциала таких земель требует проведения комплекса мелиоративных мероприятий, которые во многих случаях будут иметь пролонгированный характер. Для правильного подбора состава комплексных мелиораций, принятия решения по срокам их применения необходимо произвести идентификацию типа и определиться со степенью за-

соления, причинами его возникновения, а также уровнем его негативного воздействия.

В соответствии с этим целью исследования является анализ имеющихся в настоящее время подходов к определению химизма и степени засоления почв.

В процессе работы исследованы труды российских и зарубежных ученых, российские, зарубежные и международные методики в области определения степени и типа засоления земель. Применялись методы анализа, обработки и обобщения данных.

Обсуждение. Засоление земель приводит к утрате продукционной способности почв, что значительно уменьшает их агроэкологическую и коммерческую ценность. Наблюдения ряда авторов за изменением количества гумуса в солонцовых почвах по сравнению с зональными показали его уменьшение на 20 % и более [5, 6]. Сводные данные об оценке влияния различной степени засоления на биопродуктивность почв и виталитет растений приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Влияние засоления на биопродуктивность земель
(составлена на основании обобщенных данных [5, 7–11])**

Градация по степени засоления	Состояние растений	рН водной суспензии (1:2,5)	Обменный натрий, % от емкости	Токсичная щелочность ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{Mg}^+$), ммоль (экв)/100 г	Уменьшение в % от существующего уровня урожайности (прироста биомассы продуцентов)	Относительное плодородие почвы, %
Незасоленные	Хороший рост и развитие	< 7,5	< 5,0	< 0,7	–	95–100
Слабозасоленные	Слабое угнетение	7,5–8,4	5–10	0,7–1,0	10–20	85–95
Среднезасоленные	Среднее угнетение	8,5–9,0	11–15	1,1–1,6	20–50	65–85
Сильнозасоленные	Сильное угнетение	9,0–9,5	16–20	1,7–2,0	50–80	50–65
Солончаки	Урожай практически отсутствует	> 9,5	> 20	> 2,0	> 80	менее 50

В целях разработки плана действий по проведению мелиоративных мероприятий для улучшения состояния засоленных земель и дальнейшего поддержания солевого баланса в них на оптимальном уровне необходимо определить как тип (или химизм) и степень засоления, так и причины его возникновения. Другим немаловажным аспектом является своевременное его выявление посредством регистрации определенных признаков и применения средств экспрессного анализа. Регистрация солевого дисбаланса почв на ранних стадиях его развития позволит провести менее затратные мероприятия по стабилизации и предотвращению негативных последствий.

В качестве причин засоления выделяют первичные и вторичные факторы, влияющие на накопление солей в почвенном слое. В качестве первичных факторов определяют участие материнских пород в формировании солевого статуса почв. Исходные материалы с высоким содержанием солей разрушаются в процессе выветривания, в результате чего минеральный компонент в диспергированном виде попадает в состав педосферы, где в присутствии влаги происходит гидролиз солей. Вторичные факторы в большинстве своем связаны с деятельностью человека, например, складирование отходов, снега, применение солей для удаления снега и льда с улиц города, подкисление почв сульфат-ионами при выпадении кислотных осадков, орошение водами с неблагоприятным солевым составом, поднятие уровня минерализованных грунтовых вод при неправильной организации ирригационных систем и т. д. В качестве естественных вторичных факторов можно упомянуть подтопление или затопление территорий солеными водами морей и океанов, засушливую погоду с недостаточным количеством осадков, что не способствует выщелачиванию почв и ведет к накоплению в верхних горизонтах растворимых солей.

Немаловажное значение в процессе развития засоления почв имеют их агрегатный состав. Так, например, по данным Департамента первичной промышленности Нового Южного Уэльса (Индонезия, Австралия), прово-

дившего исследования факторов рассоления сельскохозяйственных почв, в прибрежных зонах после обрушения на них цунами и пребывания их под водою в течение нескольких дней в песчаных почвах соль накапливается слабо, что объясняется как высоким уровнем просачивания вод, так и тем, что к песчаным частицам соль слабо крепится, а глинистые почвы, наоборот, предрасположены к накоплению солей [12]. Торфяные почвы также достаточно быстро выщелачиваются от содержащихся в них солей за счет их хорошей дренированности [12].

Действие солей на изменение качества почв (в контексте их плодородия) напрямую будет зависеть как от ионного состава, так и от количества того или иного вида ионов (что определяет тип засоления). Например, при оценке солей по степени токсичности по десятибалльной шкале, где 1 балл присваивается соли, имеющей наименьшую токсичность, а 10 – наибольшую, соли группируются следующим образом: Na_2SO_4 – 1; NaHCO_3 – 3; MgSO_4 – 3–5; MgCl_2 – 3–5; NaCl – 5–6; Na_2CO_3 – 10 [13, 14]. Ощелачивание почв (увеличение $\text{pH} > 9$), которое ведет к росту осмотического давления до величин, превышающих осмотическое давление клеточного сока растений (в результате чего нарушается поступление питательных веществ), наблюдается при накоплении ионов Na^+ совместно с CO_3^{2-} и HCO_3^- [15, 16]. Присутствие этих ионов также способствует образованию соды, вызывая один из самых негативных видов засоления [5, 10]. Тем не менее образованию соды может препятствовать наличие достаточного количества ионов Ca^{2+} в составе почв.

Все указанное многообразие факторов, влияющих на накопление солей, способствовало формированию различных подходов к оценке степени засоленности почв, которая может производиться либо путем определения общего содержания легкорастворимых солей в почве, либо по общей концентрации солей в почвенном растворе или фильтрате из насыщенной водой почвенной пасты.

Наиболее ранними по применению дающими достаточную точность в интерпретации данных стали лабораторные методы химического анализа, которые использовались при изучении почвенных проб повсеместно и в нашей стране и за рубежом. В 80-е гг. прошлого века в СССР засоление почв оценивали посредством исследования характерных показателей водной вытяжки, утвердив эту практику определений в качестве стандартной (ГОСТ 26423-85 [17]). Сущность данного метода заключается в определении солевых показателей водной вытяжки, полученной путем извлечения водорастворимых солей из почвы дистиллированной водой при соотношении почвы к воде 1:5. Определение степени засоления производят по удельной электрической проводимости водной вытяжки с помощью кондуктометра (допустимый диапазон измерений прибора 0,01–100 мСм/см). Показатель кислотности почв замеряется с помощью рН-метра или иономера со стеклянным (в качестве измерительного) и хлорсеребряным (в качестве сравнения) электродами. При отсутствии кондуктометра определяют плотный остаток вытяжки посредством выпаривания.

Выделение токсичных ионов из общего количества солей производится исходя из условий последовательности формирования соединений:

- 1) CO_3^{2-} образует только токсичные соли;
- 2) HCO_3^- образует токсичные соли с Mg^{2+} и Na^+ и нетоксичные с Ca^{2+} , соответственно, если $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$, все HCO_3^- относят к нетоксичным, если $\text{Ca}^{2+} < \text{HCO}_3^-$, количество $\text{HCO}_3^- = 2 \text{Ca}^{2+}$ относят к нетоксичным, остальное – к токсичным;
- 3) SO_4^{2-} образует токсичные соли с Mg^{2+} и Na^+ и нетоксичные с Ca^{2+} .

При этом сначала определяют количество ионов кальция, пошедшее на связывание HCO_3^- (при его наличии в почве), а затем по оставшемуся количеству Ca^{2+} определяют количество сульфат-иона, которое может быть связано последним. Оставшееся количество сульфат-иона относят к группе токсичных солей. Содержание токсичных солей определяется по формуле [18, 19]:

$$\omega = c \cdot K,$$

где ω – массовая доля токсичных солей, в % к массе абсолютно сухой почвы;

c – концентрация определяемого иона, ммоль(экв)/100 г почвы;

K – безразмерный коэффициент пересчета, зависящий от вида иона:

$K(\text{CO}_3^{2-}) = 0,03$; $K(\text{HCO}_3^-) = 0,061$; $K(\text{Cl}^-) = 0,0355$; $K(\text{SO}_4^{2-}) = 0,048$;

$K(\text{Na}^+) = 0,023$; $K(\text{Ca}^{2+}) = 0,0204$; $K(\text{Mg}^{2+}) = 0,0122$.

Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова (1968, 1972 гг.) предложили оценивать химизм и степень засоления почвы по присутствию в них токсичных ионов в процентах к массе абсолютно сухой почвы (таблица 2) [18, 19].

Таблица 2 – Определение типа засоления и уровня солевой деградации почв по количеству токсичных ионов (составлена на основании обобщенных данных Н. И. Базилевич, Е. И. Панковой [18, 19])

Тип засоления по преобладающему иону	Соотношение количества токсичных ионов	В % к массе абсолютно сухой почвы Градация по степени засоления				
		незасоленные	слабозасоленные	среднезасоленные	сильнозасоленные	очень сильнозасоленные
Хлоридный	$\text{Cl}:\text{SO}_4 \geq 2,5$	$< 0,03$	0,03–0,10	0,10–0,30	0,30–0,60	$> 0,60$
Сульфатно-хлоридный	$\text{Cl}:\text{SO}_4 = 2,5 \dots 1$	$< 0,05$	0,05–0,12	0,12–0,35	0,35–0,70	$> 0,70$
Хлоридно-сульфатный	$\text{Cl}:\text{SO}_4 < 1 \dots 0,3$	$< 0,10$	0,10–0,25	0,25–0,50	0,50–0,90	$> 0,90$
Сульфатный	$\text{Cl}:\text{SO}_4 \leq 0,3$	$< 0,15$	0,15–0,30	0,30–0,60	0,60–1,40	$> 1,40$
Содово-хлоридный и хлоридно-содовый	$\text{Cl}:\text{SO}_4 > 1$, $\text{HCO}_3 \geq \text{Cl}$	$< 0,10$	0,10–0,15	0,15–0,30	0,30–0,50	$> 0,50$
Содово-сульфатный и сульфатно-содовый	$\text{Cl}:\text{SO}_4 < 1$, $\text{HCO}_3 \geq \text{SO}_4$	$< 0,15$	0,15–0,25	0,25–0,35	0,35–0,60	$> 0,60$
Сульфатно (хлоридно)-гидрокарбонатный	$\text{HCO}_3:\text{Cl} > 1$, $\text{HCO}_3:\text{SO}_4 < 1$	$< 0,15$	0,15–0,30	0,30–0,50	не встречается	не встречается

В дальнейшем классификация получила свое развитие и была дополнена в работах Е. И. Панковой [1, 20], Н. И. Сотневой [21]. Расширенная классификация типов и степени засоления почв, сделанная по данным Е. И. Панковой и др., представлена в таблице 3.

**Таблица 3 – Классификация по отношению общего содержания солей (числитель)
к сумме токсичных ионов (знаменатель) с учетом химизма засоления
(составлена на основании обобщенных данных [1, 19, 21, 22])**

Тип засоления	pH	Количественное соотношение ионов	Разновидность почв по содержанию гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	В ммоль(экв)/100 г почвы Градация по степени засоления				
				незасолен- ные	слабозасо- ленные	среднеза- соленные	сильноза- соленные	очень сильно засоленные
Хлоридный	$\leq 8,5$	$\text{HCO}_3 < \text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{Cl}:\text{SO}_4 > 2,5$	–	$\frac{\leq 0,1}{< 0,05}$	$\frac{0,1-0,2}{0,05-0,12}$	$\frac{0,2-0,4}{0,12-0,35}$	$\frac{0,4-0,8}{0,35-0,7}$	$\frac{\geq 0,8}{> 0,7}$
Сульфатно-хло- ридный	$\leq 8,5$	$\text{HCO}_3 < \text{Ca} + \text{Mg}$, $1,5 < \text{Cl}:\text{SO}_4 \leq 2,5$	–	$\frac{\leq 0,1}{< 0,05}$	$\frac{0,1-0,2}{0,05-0,12}$	$\frac{0,2-0,4}{0,12-0,35}$	$\frac{0,4-0,8}{0,35-0,7}$	$\frac{\geq 0,8}{> 0,7}$
Хлоридно-суль- фатный	$\leq 8,5$	$\text{HCO}_3 < \text{Ca} + \text{Mg}$, $1 < \text{Cl}:\text{SO}_4 \leq 1,5$	$< 1 \%$	$\frac{\leq 0,2}{< 0,1}$	$\frac{0,2-0,4}{0,1-0,25}$	$\frac{0,4-0,8}{0,25-0,5}$	$\frac{0,6-1}{0,5-1}$	$\frac{\geq 1}{> 1}$
			$> 1 \%$	$\frac{\leq 0,2}{< 0,1}$	$\frac{0,2-0,6}{0,1-0,25}$	$\frac{0,6-0,9}{0,25-0,5}$	$\frac{0,9-1,4}{0,5-1}$	$\frac{\geq 1,4}{> 1}$
Сульфатный	$\leq 8,5$	$\text{HCO}_3 < \text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{Cl}:\text{SO}_4 < 1$	$< 1 \%$	$\frac{\leq 0,3}{< 0,15}$	$\frac{0,3-0,6}{0,15-0,3}$	$\frac{0,6-0,8}{0,3-0,6}$	$\frac{0,8-1,5}{0,6-1,5}$	$\frac{\geq 1,5}{> 1,5}$
			$> 1 \%$	$\frac{\leq 1}{< 0,15}$	$\frac{1-1,2}{0,15-0,3}$	$\frac{1,2-1,5}{0,3-0,6}$	$\frac{1,5-2}{0,6-1,5}$	$\frac{\geq 2}{> 1,5}$
Содовый и со- дово-хлоридный	$> 8,5$	$\text{HCO}_3 > \text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{HCO}_3 \geq \text{Cl}$, $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4$, $\text{Cl} > \text{SO}_{4\text{токс.}}$	–	$\frac{\leq 0,1}{< 0,1}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1-0,15}$	$\frac{0,2-0,3}{0,15-0,3}$	$\frac{0,3-0,5}{0,3-0,5}$	$\frac{\geq 0,5}{> 0,5}$
Сульфатно-со- довый и содово- сульфатный	$> 8,5$	$\text{HCO}_3 > \text{Ca} + \text{Mg}$, $\text{HCO}_3 \geq \text{SO}_{4\text{токс.}}$, $\text{HCO}_3 > \text{Cl}$, $\text{Cl} < \text{SO}_4$	–	$\frac{\leq 0,15}{< 0,15}$	$\frac{0,15-0,25}{0,15-0,25}$	$\frac{0,25-0,4}{0,25-0,4}$	$\frac{0,4-0,6}{0,4-0,6}$	$\frac{\geq 0,6}{> 0,6}$
Сульфатно-хло- ридно-карбонат- ный	$\geq 8,5$	$\text{HCO}_3 > \text{Cl}$, $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4$	–	$\frac{\leq 0,2}{< 0,15}$	$\frac{0,2-0,4}{0,15-0,3}$	$\frac{0,4-0,5}{0,3-0,5}$	не встре- чается	не встреча- ется

Здесь также следует отметить и тот факт, что некоторые данные о количественном соотношении ионов разнятся в разных источниках [1, 19, 21, 22], причем эта разница значительна и не может быть объяснена погрешностями измерений или разницей в типах почв.

Другой пример оценки степени засоления почв – по суммарному эффекту влияния токсичных ионов [23]. В данном случае к токсичным ионам отнесены CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , а их «суммарный эффект» предполагается выражать в эквивалентах Cl^- , принимая токсичность ионов хлора за единицу: $1\text{Cl}^- = 0,1\text{CO}_3^{2-} = (2,5...3)\text{HCO}_3^- = (5...6)\text{SO}_4^{2-}$ (таблица 4).

Таблица 4 – Классификация степени засоления по суммарному эффекту влияния токсичных ионов (составлена на основании обобщенных данных [23])

Показатель	Градация по степени засоления				
	незасолен- ные	слабозасо- ленные	среднезасо- ленные	сильнозасо- ленные	очень сильно засоленные
	Σ токсичных ионов, в эквивалентах $\text{Cl}^-/100$ г почвы				
Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в почве $< 1\%$	$< 0,3$	0,3–1	1–3	3–7	> 7
Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в почве $> 1\%$	$< 0,3$	0,3–1,5	1,5–3,5	3,5–7,5	$> 7,5$

USDA Salinity Laboratory в 1950-е гг. разработала методику выявления степени засоления исследуемых почв, основанную на использовании показателя удельной электропроводности экстрактов из почвенных паст (EC_{SE}) [24]. Из-за того, что приготовление пасты и экстрактов из паст является трудоемким процессом, часто измеряется электропроводность водной суспензии, которую получают посредством смешивания кратного количества почвы и воды (1:2,5; 1:5; 1:10), с последующим пересчетом на основе эмпирических коэффициентов электропроводности фильтрата из насыщенной водою почвенной пасты [1, 14, 25–28]. Простота изготовления суспензий позволяет осуществлять измерения в полевых условиях.

В рекомендациях по описанию почв ФАО [27] в качестве наиболее

доступного варианта предлагается изготовление суспензии с соотношением почвы и дистиллированной воды 1:2,5 (например, 20 г почвы и 50 г воды или 10 г почвы и 25 г воды). Компоненты сначала тщательно перемешиваются, после чего измеряется электропроводность надосадочной жидкости в течение 30 мин полевым кондуктометром. Толкование результатов замеров осуществляют посредством несложных расчетов, подставляя необходимые коэффициенты в формулу пересчета:

$$EC_{SE} = \frac{250 \cdot EC_{2,5}}{WC_{SE}}, \quad (1)$$

где EC_{SE} – показатель удельной электропроводности экстрактов из почвенных паст;

$EC_{2,5}$ – электропроводность суспензии с соотношением почвы и воды 1:2,5 (дСм/м);

WC_{SE} – влажность почвенной пасты (г/100 г) при различном гранулометрическом составе исследуемых почв, который определяется в зависимости от содержания гумуса (%) для минеральных почв либо с учетом степени разложения торфа – для органических почв.

Расчеты предполагают проведение замеров при температуре 25 °С, в случае иной температуры окружающей среды при проведении замеров в формулу вводится температурный коэффициент (разработаны для большого диапазона температур). При этом считается, что за период проведения измерений температура является неизменной. При интерпретации полученных данных исходят из того, что чем больше солей в растворе, тем выше показатель EC и тем выше токсичность почвы для растений. Этот тест дает представление о степени засоления (присутствии водорастворимых солей), но не позволяет их идентифицировать. Он аналогичен определению общего количества растворенных твердых веществ (мг/дм³), основанному на установлении валового количества солей посредством испарения водной вытяжки почв (таблица 5). В настоящее время имеется не-

сколько модификаций этого способа измерения (американская и европейская), отличающихся номенклатурой и диапазоном граничных значений (таблица 5).

Таблица 5 – Классификация по валовому содержанию солей, определенному по электропроводимости фильтрата из насыщенной пасты и по содержанию солей в солевом горизонте (составлена на основании обобщенных данных [24, 27, 29])

Градация по степени засоления	EC , дСм/м (USDA) [24]	Градация по степени засоления	EC_{se} (см. формулу (1)), дСм/м (при 25 °C) (FAO) [27]	Градация по степени засоления	Содержание солей в солевом горизонте, % (СССР) [29]
Несолёные	0–2,0	(Практически) нет солей	< 0,75	Незасоленные	< 0,25
Очень слабосолёные	2,0–4,0	Слабозасоленная	0,75–2,0	Слабозасоленные	0,25–0,5
Слабосолёные	4,0–8,0	Среднезасоленная	2,0–4,0	Среднезасоленные	0,5–1,0
Умеренно солёные	8,0–16,0	Сильнозасоленная	4,0–8,0	Сильнозасоленные	1,0–2,0
Сильно засоленные	> 16,0	Очень сильно засоленная	8,0–15,0	Солончаки	> 2,0
–	–	Чрезвычайно засоленная	> 15,0	–	–

Для более детальной оценки засоления почв Е. И. Панкова и др. (2017) [1, 20] сопоставили величины электропроводимости фильтрата из насыщенной пасты с валовым количеством токсичных солей и содержанием ионов обменного натрия, что позволило сформировать комплексную диагностику степени засоления почв (таблица 6).

Таблица 6 – Классификация по электропроводимости фильтрата из насыщенной пасты с учетом суммы токсичных солей и количества Na^+

Контролируемый показатель	Градация по степени засоления				
	незасоленные	слабозасоленные	среднезасоленные	сильнозасоленные	очень сильно засоленные
Электропроводимость фильтрата EC_e , мСм/см	0–3	3–5	5–10	10–16	> 16
Сумма токсичных солей в солевом горизонте почв, %	0–0,15	0,15–0,30	0,30–0,60	0,60–1,0	> 1,0
Количество ионов Na^+ , ммоль(экв)/кг	0–1	1–3	3–6	6–11	> 11

USDA Salinity Laboratory также рекомендует проведение комплексной характеристики показателей почв при оценке ее степени засоления. По их рекомендациям, помимо удельной электропроводности, необходимо определять совокупность показателей, включающую показатель pH, который не является мерой засоленности, но зависит от вида присутствующих в почве солей; процент обменного натрия Na^+ (ESP) от общей катионообменной емкости почвы; коэффициент адсорбции натрия (SAR), показывающий соотношение ионов Na и ионов Ca и Mg, которые нейтрализуют неблагоприятные эффекты Na^+ ; наличие гипса в почвенном профиле и щелочноземельных карбонатов, а также количественное соотношение ионов (таблица 7).

Таблица 7 – Группировка засоленных щелочных и нещелочных почв по данным анализа водонасыщенных паст [1]

Группа почв по степени засоления и щелочности	EC , dS/m	ESP (см. формулу (3)), %	pH	SAR (см. формулу (2))	Основные ионы и их соотношение	Присутствие гипса	Щелочноземельные карбонаты
Незасоленные нещелочные	< 4	< 15	< 7	низкий	–	+, –	+, –
Засоленные нещелочные	> 4	< 15	< 8,5	невысокий	Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- – мало; CO_3^{2-} – нет; $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	+	+
Незасоленные щелочные	невысокая	> 15	обычно > 8,5	высокий	Na^+ , может быть в виде NaHCO_3 и NaCO_3^-	редко +	–
Засоленные щелочные	> 4	> 15	обычно < 8,5	> 12	Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- – мало; CO_3^{2-} – нет; $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, но доля Na^+ высока	–	–

Приведенные в таблице 7 показатели определяются согласно следующим формулам [24, 30].

Коэффициент адсорбции натрия (SAR) экстракта насыщенной пасты отражает статус Na^+ в почвенно-катионообменном комплексе и определяется по формуле:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{0,5([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}}. \quad (2)$$

В зависимости от SAR определяется процент обменного натрия от общей катионообменной емкости почвы ESP по формуле:

$$ESP = \frac{1,475 \cdot SAR}{1 + (0,0147 \cdot SAR)}. \quad (3)$$

Еще один интересный способ классификации по солонцеватости почв был представлен А. В. Новиковой (2011) [31]. Он базируется на понятии степени иллювиирования. Иллювиирование представляет собой отложение и аккумуляцию в нижних горизонтах почвы растворимых солей, органических и минеральных веществ, вынесенных из верхней части почвенного профиля в процессе его выщелачивания. Степень иллювиирования солонцовых почв определяется по характеру глинистой дифференциации. Как известно, при всем разнообразии солонцов, сформированном под действием различных биоклиматических условий, они имеют ряд ярко выраженных общих свойств, к одному из которых относится дифференцированное строение профиля, отличающееся четким выделением рыхлого элювиально-гумусового и сильно уплотненного иллювиального (солонцового) горизонта. При этом в иллювиальном горизонте отмечается максимальное содержание илистых частиц по сравнению с соседними горизонтами, что и послужило основанием для разработки данного принципа классификации (А. В. Новикова, 1968). Исходя из полученных данных, степень иллювиирования предложено определять по формуле:

$$K_i = \frac{B - A}{A + B} \cdot 100,$$

где B и A – содержание ила соответственно в иллювиальном и элювиальном горизонтах, %.

В зависимости от полученной степени иллювиирования в таблице 8 представлена классификация солонцовых почв [31].

Таблица 8 – Классификация солонцовых почв по степени иллювиирования (А. В. Новикова, П. Г. Коваливнич [31])

Показатель	Градации по степени засоления				
	несолонцеватые	слабосолонцеватые	среднесолонцеватые	сильно солонцеватые	очень сильно солонцеватые
Малогумусные средненатриевые солонцовые и солонцеватые почвы					
Доля Na^+ от Σ обменных оснований, %	< 3	3–5	5–10	10–15	> 15
Степень иллювиированности, %	< 0,7	0,7–4,0	4–12	12–19	> 19
Малогумусные малонатриевые автоморфные солонцовые почвы					
Содержание поглощенного Na^+ от емкости поглощения, %	< 3	3–7	3–7	> 7	–
Степень иллювиированности, %	< 8	8–17	8–17	> 17	–

Как видно из представленных примеров, оценка и классификация деградации почв по солевому составу должна производиться на основании комплекса показателей. Помимо этого, в мировой практике, в т. ч. и российской, классификация засоленных почв включает и ряд показателей, присущих традиционной структуре описания почв [32–34]. Так, для солончаков в российской практике используют классификацию, включающую отдел (галоморфных почв), тип (глеевые, сульфидные, темные, торфяные, вторичные), подтип (типичные, такыровидные, солонцеватые, слабо дифференцированные и т. д.), род (по химизму засоления, по наличию карбонатов, гипса), вид (по глубине оглеения, по залеганию карбонатов, по содержанию гумуса) [31, 33].

Поэтому в процессе разработки методики оценки деградации почв (или, возможно, агропочв) по солевому составу необходимо учитывать ряд показателей, способствующих идентификации солевой деградации почв.

Выводы. На основании ретроспективного анализа различных возможностей определения и классификации солевой деградации почв сделан вывод о наличии разнообразных методик, ориентированных как на отдельные характеристики почв в целях выявления их неблагоприятного солевого

го состава, так и на различные подходы к процедурам и методам диагностирования. Основной целью выявления солевого дисбаланса в составе сельскохозяйственных земель является возможность сохранения и улучшения их плодородия, что, несомненно, при наличии их деградации осуществляется за счет проведения мелиоративных мероприятий.

В целях выработки единообразия в оценке и толковании данных о солевом составе почв, степени их засоления и необходимости проведения того или иного вида мелиоративных работ необходимо разработать систему показателей, базирующуюся на опыте российских и зарубежных ученых, имеющих международные практики. Разработка указанной нормативно-методической документации должна быть ориентирована на международный уровень, учитывать все возможные показатели, влияющие на точность определения химизма и степени засоления, исключая излишнюю детализацию.

Список источников

1. Руководство по управлению засоленными почвами / под ред. Р. Варгаса, Е. И. Панковой, С. А. Балюка, П. В. Красильникова, Г. М. Хасанхановой; ФАО. Рим, 2017. 153 с.
2. Засоленные почвы России / Е. И. Панкова [и др.]. М.: Академкнига, 2006. 854 с.
3. Новикова А. В. Исследования засоленных и солонцовых почв: генезис, мелиорация, экология. Избранные труды / отв. ред. С. А. Балюк. Харьков, 2009. 740 с.
4. Картографический анализ зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик / Н. В. Калинина, Д. И. Рухович, Е. И. Панкова, Г. И. Черноусенко, П. В. Королева // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1287–1304. DOI: 10.7868/S0032180X16110046.
5. Базилевич Н. И. Геохимия почв содового засоления. М., 1965. 350 с.
6. Пак К. П. Солонцы СССР и пути повышения их плодородия. М.: Колос, 1975. 384 с.
7. Изучение и подбор солеустойчивых сельскохозяйственных культур для возделывания на засоленных почвах / ФАО. Бишкек, 2018. 19 с.
8. Денисов В. В., Лозановская И. Н. Основы химической мелиорации почв. Новочеркасск, 1983. 103 с.
9. Временные нормативные прибавки урожая. М.: ВНИИГиМ, 1974. 28 с.
10. Ковда В. А. Щелочные почвы содового засоления // Доклады симпозиума по содовому засолению почв. Агрохимия и почвоведение. Будапешт, 1965. Т. 4. С. 49–81.
11. Оценка деградации орошаемых почв / Б. А. Зимовец [и др.] // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1119–1126.
12. Soil salinity. A practical guide to restoring agriculture after a tsunami [Electronic resource] / Indonesian Agency for Agricultural Research and Development, Indonesia, NSW

Department of Primary Industries, Australia. 10 p. URL: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/255511/Soil-salinity_chapter5.pdf (date of access: 10.05.2021).

13. Лопатовская О. Г., Сугаченко А. А. Мелиорация почв. Засоленные почвы: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 101 с.

14. Follet R. H., Murphy L. S., Donahue R. L. Fertilizers and soil amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs. USA: New Jersey, 1981. 557 p.

15. Лебедев С. И. Физиология растений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1988. 544 с.

16. Сальников А. И., Маслов И. Л. Физиология и биохимия растений: практикум / М-во сел. хоз-ва РФ, Пермская ГСХА. Пермь: Изд-во Пермской ГСХА, 2014. 300 с.

17. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Введ. 1986-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 4 с.

18. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. 1968. № 11. С. 3–16.

19. Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института. 1972. Вып. 5. С. 36–42.

20. Панкова Е. И., Конюшкова М. В., Горохова И. Н. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // Экосистемы: экономика и динамика. 2017. Т. 1, № 1. С. 26–54.

21. Сотнева Н. И. Применение экспресс-методов для оценки почв по степени засоления (на примере почв севера Прикаспийской низменности) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2005. № 57. С. 69–81.

22. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. Введ. 2021-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 41 с.

23. Практикум по почвоведению / под ред. И. С. Кауричева. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1980. 272 с.

24. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. USDA Agriculture handbook № 60 / L. E. Allison, L. Bernstein, C. A. Bower, J. W. Brown, M. Fireman, J. T. Hatcher, H. E. Hayward, G. A. Pearson, R. C. Reeve, L. A. Richards, L. V. Wilcox. 1954. 160 p.

25. Scianna J. Salt-affected soils: their causes, measure, and classification [Electronic resource] // HortNote. 2002. № 5. 3 p. URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044788.pdf (date of access: 10.05.2021).

26. Копикова Л. П., Скулкин В. С. Оценка засоления почв по сопряженным данным водных вытяжек и экстрактов из водонасыщенных паст // Условия формирования и свойства трудномелиорируемых почв Джизакской степи. Научные труды Почвенного института имени В. В. Докучаева. М., 1990. С. 74–81.

27. Руководство по описанию почв / Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций. 4-е изд., испр. и доп. Рим, 2012. 101 с.

28. Классификация и диагностика почв СССР / сост.: В. В. Егоров [и др.]. М., Колос, 1977. 224 с.

29. Классификация солонцов / В. М. Фридланд [и др.] // Приемы и методы совершенствования мелиорации солонцовых почв. М., 1976. С. 46–54.

30. Managing Salt-affected Soils for Crop Production. A Pacific Northwest Extension publication. PNW 601-E [Electronic resource] / D. A. Horneck, J. W. Ellsworth, B. G. Hopkins, D. M. Sullivan, R. G. Stevens; Oregon State University, University of Idaho, Washington State University. 2007, Nov. 24 p. URL: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/pnw601.pdf> (date of access: 10.05.2021).

31. Новикова А. В., Коваливнич П. Г. Диагностика солонцовых почв по характеру глинистой дифференциации // Почвоведение. 2011. № 8. С. 915–922.
32. Панкова Е. И., Герасимова М. И., Королук Т. В. Засоленные почвы в отечественной, американской и международной почвенных классификациях // Почвоведение. 2018. № 11. С. 1309–1321. DOI: 10.1134/S0032180X18110072.
33. Руководство по составлению почвенно-мелиоративного обоснования проектов мелиоративного строительства и специальных карт. М.: Гипроводхоз РИО, 1973. 106 с.
34. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.

References

1. Vargas R., Pankova E.I., Balyuk S.A., Krasilnikov P.V., Khasankhanova G.M., 2017. *Rukovodstvo po upravleniyu zasolennymi pochvami* [Handbook for Saline Soil Management]. FAO, Rome, 153 p. (In Russian).
2. Pankova E.I. [et al.], 2006. *Zasolennye pochvy Rossii* [Saline Soils of Russia]. Moscow, Akademkniga Publ., 854 p. (In Russian).
3. Novikova A.V., Balyuk S.A., 2009. *Issledovaniya zasolennykh i solontsovykh pochv: genesis, melioratsiya, ekologiya. Izbrannye trudy* [Research of Saline and Solonchic Soils: Genesis, Reclamation, Ecology. Selected Works]. Kharkov, 740 p. (In Russian).
4. Kalinina N.V., Rukhovich E.I., Pankova D.I., Chernousenko G.I., Koroleva P.V., 2016. *Kartograficheskiy analiz zavisimosti rasprostraneniya zasolennykh pochv na territorii Rossii ot ryada klimaticheskikh kharakteristik* [Cartographic analysis of saline soils distribution in Russia depending on some climatic parameters]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 11, pp. 1287-1304, DOI: 10.7868/S0032180X16110046. (In Russian).
5. Bazilevich N.I., 1965. *Geokhimiya pochv sodovogo zasoleniya* [Geochemistry of Soda-Saline Soils]. Moscow, 350 p. (In Russian).
6. Pak K.P., 1975. *Solontsy SSSR i puti povysheniya ikh plodorodiya* [Saline Soils of the USSR and Methods to Improve Their Fertility]. Moscow, Kolos Publ., 384 p. (In Russian).
7. *Izuchenie i podbor soleustoychivyykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur dlya vozdevlyaniya na zasolennykh pochvakh* [Study and Selection of Salt-tolerant Agricultural Crops for Cultivation on Saline Soils]. FAO, Bishkek Publ., 2018, 19 p. (In Russian).
8. Denisov V.V., Lozanovskaya I.N., 1983. *Osnovy khimicheskoy melioratsii pochv* [Fundamentals of Chemical Soil Reclamation]. Novocherkassk, 103 p. (In Russian).
9. *Vremennye normativnye pribavki uroznya* [Temporary Normative Yield Increases]. Moscow, VNIIGiM, 1974, 28 p. (In Russian).
10. Kovda V.A., 1965. *Shchelochnye pochvy sodovogo zasoleniya* [Alkaline soils of soda salinization]. *Doklady simpoziuma po sodovomu zasoleniyu pochv. Agrokimiya i pochvovedenie* [Symposium on the Soda Salinization of Soils. Agrochemistry and Soil Science]. Budapest, vol. 4, pp. 49-81. (In Russian).
11. Zimovets B.A. [et al.], 1998. *Otsenka degradatsii oroshaemykh pochv* [Assessment of irrigated soils degradation]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 9, pp. 1119-1126. (In Russian).
12. Soil salinity. A practical guide to restoring agriculture after a tsunami. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development, Indonesia, NSW Department of Primary Industries, Australia, 10 p., available: https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0019/255511/Soil-salinity_chapter5.pdf [accessed 10.05.2021].
13. Lopatovskaya O.G., Sugachenko A.A., 2010. *Melioratsiya pochv. Zasolennye pochvy: ucheb. posobie* [Land Reclamation. Saline Soils: Textbook]. Irkutsk, Irkutsk State University Publ., 101 p. (In Russian).

14. Follet R.H., Murphy L.S., Donahue R.L., 1981. Fertilizers and soil amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, USA, New Jersey, 557 p.
15. Lebedev S.I., 1988. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. 3rd ed., rev., Moscow, Agroprom Publ., 544 p. (In Russian).
16. Salnikov A.I., Maslov I.L., 2014. *Fiziologiya i biokhimiya rasteniy: praktikum* [Plant Physiology and Biochemistry: Handbook]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Perm State Agricultural Academy, Perm, 300 p. (In Russian).
17. GOST 26423-85. *Pochvy. Metody opredeleniya udel'noy elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoy vytyazhki* [Soils. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and solid residue of water extract]. Moscow, Publ. of Standards, 2011, 4 p. (In Russian).
18. Bazilevich N.I., Pankova E.I., 1968. *Opyt klassifikatsii pochv po zasoleniyu* [Experience of soil classification by salinity]. *Pochvovedenie* [Soil Study], no. 11, pp. 3-16. (In Russian).
19. Bazilevich N.I., Pankova E.I., 1972. *Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh soley i ionov* [Experience of soil classification by the contents of toxic salts and ions]. *Byulleten' Pochvennogo instituta* [Bulletin of Soil Institute], iss. 5, pp. 36-42. (In Russian).
20. Pankova E.I., Konyushkova M.V., Gorokhova I.N., 2017. *O probleme otsenki zasolennosti pochv i metodike krupnomasshtabnogo tsifrovogo kartografirovaniya zasolennykh pochv* [On the problem of soil salinity's evaluation and method of large-scale digital mapping of saline soils]. *Ekosistemy: ekonomika i dinamika* [Ecosystems: Economics and Dynamics], vol. 1, no. 1, pp. 26-54. (In Russian).
21. Sotneva N.I., 2005. *Primenenie ekspress-metodov dlya otsenki pochv po stepeni zasoleniya (na primere pochv severa Prikaspiyskoy nizmennosti)* [Rapid methods for the evaluation of soils by the degree of salinization (with the soils of the northern Caspian lowland as an example)]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchayeva* [Bulletin of Soil Institute named after V.V. Dokuchaev], no. 57, pp. 69-81. (In Russian).
22. GOST 25100-2020. *Grunt. Klassifikatsiya* [Soils. Classification]. Moscow, Publ. of Standards, 2020, 41 p. (In Russian).
23. Kauricheva I.S., 1980. *Praktikum po pochvovedeniyu* [Handbook on Soil Science]. 3rd ed., rev., Moscow, Kolos Publ., 272 p. (In Russian).
24. Allison L.E., Bernstein L., Bower C.A., Brown J.W., Fireman M., Hatcher J.T., Hayward H.E., Pearson G.A., Reeve R.C., Richards L.A., Wilcox L.V., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. USDA Agriculture handbook no. 60, 160 p.
25. Scianna J., 2002. Salt-affected soils: their causes, measure, and classification. HortNote, no. 5, 3 p., available: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044788.pdf [accessed 10.05.2021].
26. Kopikova L.P., Skulkin V.S., 1990. *Otsenka zasoleniya pochv po sopryazhennym dannym vodnykh vytyazhek i ekstraktov iz vodonasyshchennykh past* [Soil salinity assessment based on conjugate data of water extracts and extracts from water-saturated pastes]. *Usloviya formirovaniya i svoystva trudnomelioriruemyykh pochv Dzhizakskoy stepi. Nauchnye trudy Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchayeva* [Conditions of formation and properties of difficult-to-reclaim soils of the Djizak steppe. Scientific works of Soil Science Institute named after V.V. Dokuchaev]. Moscow, pp. 74-81. (In Russian).
27. *Rukovodstvo po opisaniyu pochv* [Handbook for Soil Description]. Food and Agricultural Organizations of the UN, 4th ed., rev., Rome, 2012, 101 p. (In Russian).
28. Egorov V.V. [et al.], 1977. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and Diagnostics of Soils of the USSR]. Moscow, Kolos Publ., 224 p. (In Russian).

29. Friedland V.M. [et al.], 1976. *Klassifikatsiya solontsov* [Classification of solonetz soils]. *Priemy i metody sovershenstvovaniya melioratsii solontsovykh pochv* [Techniques and Methods for Improving the Reclamation of Solonetzic Soils]. Moscow, pp. 46-54. (In Russian).

30. Horneck D.A., Ellsworth J.W., Hopkins B.G., Sullivan D.M., Stevens R.G., 2007. Managing Salt-affected Soils for Crop Production. A Pacific Northwest Extension publication. PNW 601-E. Oregon State University, University of Idaho, Washington State University, Nov., 24 p., available: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/pnw601.pdf> [accessed 10.05.2021].

31. Novikova A.V., Kovalivnich P.G., 2011. *Diagnostika solontsovykh pochv po kharakteru glinistoy differentsiatsii* [Diagnostics of solonetz soils according to the clay profile differentiation]. *Pochvovedenie* [Soil Study], no. 8, pp. 915-922. (In Russian).

32. Pankova E.I., Gerasimova M.I., Korolyuk T.V., 2018. *Zasolennye pochvy v otechestvennoy, amerikanskoj i mezhdunarodnoy pochvennykh klassifikatsiyakh* [Salt-affected soils in Russian, American and international soil classification systems]. *Pochvovedenie* [Soil Science], no. 11, pp. 1309-1321, DOI: 10.1134/S0032180X18110072. (In Russian).

33. *Rukovodstvo po sostavleniyu pochvenno-meliorativnogo obosnovaniya proyektov meliorativnogo stroitel'stva i spetsial'nykh kart* [Guidelines for Preparing Land-reclamation Substantiation of Reclamation Construction Projects and Special Maps]. Moscow, Giprovodkhoz RIO, 1973, 106 p. (In Russian).

34. *Polevoy opredelitel' pochv Rossii* [Field Guide to Soils of Russia]. Moscow, Soil Science Institute named after V.V. Dokuchaev, 2008, 182 p. (In Russian).

Информация об авторе

С. А. Манжина – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент.

Information about the author

S. A. Manzhina – Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.04.2021; одобрена после рецензирования 02.07.2021; принята к публикации 07.07.2021.

The article was submitted 21.04.2021; approved after reviewing 02.07.2021; accepted for publication 07.07.2021.