

**ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ**

Оригинальная научная статья  
УДК 631.445.52:631.67(571.150)  
doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-107-117



**Засоление почв мелиорируемых сельскохозяйственных земель Алтайского края:  
кластерный анализ**

**Вера Леонидовна Снежко, Дмитрий Михайлович Бенин,  
Надежда Владимировна Гавриловская**

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Москва, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Надежда Владимировна Гавриловская; e-mail: gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

**Аннотация.** Алтайский край занимает лидирующее положение среди субъектов Сибирского федерального округа по площади пахотных земель, из которых более 80% расположены в зоне неустойчивого увлажнения. Среди сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций в крае преобладает орошение. Площадь орошаемых земель составляет около 69 тыс. га, из которых почти 10% имеют различную степень засоления в слое 0-100 см. Длительное орошение земель и несоблюдение технологий поливов приводит к засолению земель оросительных систем. В Российской Федерации на всех оросительных системах действуют единые правила сбора данных о состоянии земель, проведения почвенно-солевых съемок и лабораторной обработки материала полевых исследований. Выполнен анализ состояния орошаемых сельскохозяйственных угодий по степени их засоления за период с 1 января 2013 г. по 1 января 2022 г. по данным мелиоративного кадастра. Построена модель динамики площади сильно и очень сильно засоленных земель, проверены статистические оценки качества модели и определена средняя скорость ежегодного увеличения площади земель, подверженных засолению. Выполнен анализ наиболее возможных причин возникновения засоления на орошаемых землях, к которым относятся высокий уровень и минерализация грунтовых вод, высокая минерализация воды, используемой для орошения. Приведена динамика площадей с различным уровнем грунтовых вод, различной минерализацией грунтовых вод и оросительной воды. По данным на начало 2022 г., выполнен кластерный анализ районов Алтайского края по степени засоления земель сельскохозяйственных угодий.

**Ключевые слова:** мелиорация, засоление земель, кластерный анализ, мелиоративное состояние земель, Алтайский край, орошение

**Финансирование.** Исследование профинансировано программой развития Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева «Агропрорыв-2030» в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

**Для цитирования.** Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В. Засоление почв мелиорируемых сельскохозяйственных земель Алтайского края: кластерный анализ // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 2. – С. 107-117. <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-107-117>

© Снежко В.Л., Бенин Д.М., Гавриловская Н.В., 2023

**ECOLOGY, SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING**

Original article  
doi: 10.26897/2949-4710-2023-2-107-117



**Salinisation of Reclaimed Agricultural Land in the Altai Territory: Cluster Analysis**

**Vera L. Snezhko, Dmitrii M. Benin, Nadezhda V. Gavrillovskaya**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Nadezhda V. Gavrillovskaya, gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

**Abstract.** The Altai Territory occupies a leading position among the constituent entities of the Siberian Federal District in terms of arable land, of which more than 80% are located in the zone of unstable moisture. Irrigation is the predominant form of agricultural hydraulic reclamation in the region. The area of irrigated land is about 69 thousand hectares, of which almost 10% of the area has varying degrees of salinity in the 0-100 cm layer. Prolonged irrigation and non-compliance with irrigation technologies can lead to salinisation of land. In the Russian Federation, all irrigation systems have

common rules for collecting data on soil condition, conducting soil salinity surveys and laboratory processing of field research material. The analysis of irrigated agricultural land by the degree of its salinisation was carried out according to the data of the land reclamation cadastre for the period from 1 January 2013 to 1 January 2022. A model of the dynamics of highly and very highly saline areas was built, statistical estimates of the quality of the model were checked, and the average annual rate of increase in the area of saline areas was determined. The most likely causes of salinisation in irrigated areas were analysed. These are high groundwater levels and groundwater salinity, and high salinity of water used for irrigation. An analysis of the most likely causes of salinisation in irrigated areas was carried out, including high groundwater levels and salinity, and high salinity of water used for irrigation. The dynamics of areas with different groundwater levels, different salinities of groundwater and irrigation water are given. Based on the data from the beginning of 2022, a cluster analysis of the regions of the Altai Territory was carried out according to the degree of salinisation of agricultural land. The quality of the clustering was checked.

**Key words:** melioration, salinisation of lands, cluster analysis, reclamation state of lands, the Altai Territory, irrigation

**Acknowledgments.** The work was funded by the “Agrobreakthrough-2030” development programme of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy within the framework of the “Priority-2030” strategic academic leadership programme.

**For citation.** Snezhko V.L., Benin D.M., Gavrilovskaya N.V. Salinisation of reclaimed agricultural land in the Altai Territory: cluster analysis // Timiryazev Biological Journal. 2023; 2: 118-127. (In Rus.). <http://dx.doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-118-127>

## Введение

Алтайский край занимает площадь в 168 тыс. км<sup>2</sup>, расположен на юго-востоке Западной Сибири и является одним из субъектов Российской Федерации. Климат региона континентальный, средняя температура в январе составляет 16...-19<sup>0</sup>С, средняя температура июля – 17...18<sup>0</sup>С. Нередки такие явления, как суховеи и засухи [23]. Черноземы занимают около 40% от всей территории края, серые лесные почвы – 18,5%, каштановые почвы – 8,2% от общей площади. Площади солонцов и солончаков являются незначительными.

На начало 2022 г. численность работающего населения Алтайского края составляла 556 тыс. чел., из которых 39,7 тыс. были заняты в сельском хозяйстве. Производством продукции растениеводства занимаются крупные сельскохозяйственные организации, небольшие фермерские хозяйства, индивидуальные предприниматели, а также хозяйства населения.

В структуре производства на долю сельскохозяйственных организаций приходится 67% общего объема зерна, 98% сахарной свеклы, 60% семян подсолнечника. Остальной объем производства приходится на долю фермерских хозяйств и индивидуальных предпринимателей. Производство картофеля и овощей сосредоточено в хозяйствах населения: 82% общего сбора картофеля и 72% овощей. Общая посевная площадь сельскохозяйственных культур под урожай 2022 г. составила 5406,7 тыс. га [19].

Более 60% территории Алтайского края относится к водному бассейну реки Обь. Ежегодный объем водозабора из поверхностных источников составляет 352.3 млн м<sup>3</sup>, из подземных источников – 189.3 млн м<sup>3</sup> [17]. В регионе 80% пахотных земель находятся в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения. На нужды сельского хозяйства региона используется порядка 282 млн м<sup>3</sup> воды в год, из них 57% идет на орошение.

Засушливость территории определяется по ряду индексов или показателей, применяемых в метеорологии, гидрологии, дистанционном зондировании земли и смежных отраслях. В их число входят индекс аридности (AI), рекогносцировочный индекс засушливости (DRI), индекс засухи (NDI), индекс Z Палмера, индекс аномальной аридности (AAI) и т.п. [18]. В России широко применяется гидротермический коэффициент Селянинова K, который характеризует естественную обеспеченность территории влагой и вычисляется по формуле:

$$K = \frac{\sum R_{+10^{\circ}\text{C}}}{\sum T}, \quad (1)$$

где  $R_{+10^{\circ}\text{C}}$  – осадки, мм, выпавшие за период с температурой выше 10<sup>0</sup>С; T – температура, <sup>0</sup>С, за этот же период.

При значении гидротермического коэффициента K = 1.0-2.0 условия естественной увлажненности считаются удовлетворительными, при K < 1 – недостаточными. На территории Алтайского края выделяются несколько зон естественного увлажнения (рис. 1). Кулундинская степная зона, включающая в себя Восточно-Кулундинскую и Западно-Кулундинскую подзоны, является засушливой (K = 0,4-0,6). Приобская левобережная степная зона является умеренно засушливой (K = 0,6-0,8). Приобская правобережная лесостепная зона является достаточно влажной (K = 1,0-1,5). Приалтайская степная и лесостепная зона является умеренно влажной (K = 0,8-1,5).



Рис. 1. Природно-мелиоративные зоны Алтайского края [26]

Fig. 1. Natural Reclamation Zones of the Altai Territory [26]

Оросительные системы Алтайского края были построены в 70-е и 80-е гг. прошлого века. Для предотвращения засоления почв и подъема грунтовых вод использовались передовые для того времени технологии: закрытые оросительные сети, водоемы с противофильтрационными покрытиями, широкозахватные дождевальные машины со строго нормированной подачей воды [27]. Известно, что эффективность спринклерных систем орошения зависит от условий эксплуатации. Например, дополнительные потери воды в полусухих районах Ирана возникают по причине значительного испарения и высокой скорости ветра [2]. Эффективность управления орошением с помощью дождевальных систем на северо-востоке Испании ограничивается не только скоростью ветра, но и отсутствием систем автоматизации [6].

К числу многих факторов, влияющих на деградацию земель, относятся и социально-экономические факторы [7]. Технический износ сооружений и оборудования, нарушение технологии поливов стали причиной прогрессирующих экологических проблем на орошаемых землях региона: засоления почв, подъема грунтовых вод и выбытия ценных сельскохозяйственных земель из использования [8]. Проблемы восстановления ирригационных систем, связанные с их неадекватным обслуживанием, сокращением числа крупных сельскохозяйственных производителей и сменой собственников, характерны для стран Центральной и Восточной Европы [14]. Нерациональное использование орошаемых земель и несоблюдение технологий полива, повлекшие за собой деградацию почвы в полусухих регионах, также отмечены в ряде исследований [3, 4].

Общая площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий Алтайского края на начало 2022 г. составляла 69,784 тыс. га. Из них почти 10% площади имеют различную степень засоления в слое 0-100 см [16]. Проблема деградации земель является глобальной: свыше 25% общей площади земель в мире подвержены засолению и солонцеванию, в том числе 33% орошаемых сельскохозяйственных угодий [1]. В Европе засолению и солонцеванию подвержены более 30 млн га земли [12], причем в Северной, Центральной и Восточной Европе эти процессы связаны с орошением [5]. В Пакистане порядка 20% орошаемых земель, расположенных в бассейне реки Инд, подвержены засолению [13].

В комплекс мелиоративных работ, предотвращающих и снижающих деградацию орошаемых земель, входят такие виды мелиорации, как водные (гидротехнические), агротехнические, химические и биологические. Формирование государственной политики по технологической модернизации действующих оросительных систем, принятию управленческих решений о финансировании мелиоративных мероприятий должно основываться на мониторинге состояния земель и ресурсов мелиоративных систем. Особое внимание следует уделять мониторингу засоленных орошаемых земель и оценке интенсивности процессов засоления и солонцевания почв с целью предотвращения их деградации [10, 11]. Необходимость мониторинга деградации засушливых земель на национальном уровне и международного сотрудничества была подчеркнута в рамках проведения саммита по целям развития тысячелетия в штаб-квартире ООН [15].

В Земельном кодексе Российской Федерации законодательно закреплён государственный мониторинг земель. Объектами мониторинга земель являются все земли в Российской Федерации. Сведения мониторинга могут быть использованы для формирования эффективной политики нейтрализации деградации земель, что особенно актуально при высокой изменчивости природно-климатических и социально-экономических условий [9].

**Цель исследований:** оценка интенсивности засоления орошаемых земель Алтайского края и анализ динамики процесса засоления земель.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- Оценить среднюю ежегодную скорость изменения площади сельскохозяйственных угодий, на которой проявляются процессы засоления.
- Выполнить типизацию муниципальных районов Алтайского края по степени засоления земель мелиорируемых сельскохозяйственных угодий.

### Методика исследований

Материалом исследований стали данные наблюдений за солевым режимом земель на оросительных системах Алтайского края за 2013-2021 гг., предоставленные Федеральным государственным бюджетным учреждением «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения по Алтайскому краю». Также использованы данные ежегодного мониторинга, опубликованные в Государственном докладе о состоянии и использовании земель в Российской Федерации [21], сведения об орошаемых землях и техническом состоянии мелиоративных систем Мелиоративного кадастра [24], сведения о землях сельскохозяйственного назначения ежегодных выпусков Доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации [22].

В Российской Федерации на всех оросительных системах действуют единые правила сбора данных о состоянии земель, проведения почвенно-солевых съемок и лабораторной обработки материала полевых исследований. Это позволяет сопоставить данные, полученные на различных оросительных системах при прочих равных условиях. Почвенно-солевые съемки проводятся не реже одного раза в 5 лет. По данным скважин ручного бурения и почвенных разрезов глубиной до 2 м определяют пространственное распределение, степень и вид засоления орошаемых почв. По степени засоления различают практически незасоленные, слабозасоленные, средnezасоленные почвы и солончаки. Тип засоления определяется в зависимости от преимущественного накопления отдельных солей натрия: хлоридное, сульфатное, сульфатно-хлоридное, хлоридно-сульфатные и карбонатное.

В период между почвенно-солевыми съемками наблюдения проводят на стационарных площадках, расположенных на участках с повышенной засоленностью почв и неглубоким залеганием грунтовых вод [25]. Отбор почв и почвогрунтов проводят в начале и конце вегетационного периода. Химический состав почв определяется по единым государственным стандартам. Определяются водородный показатель (рН), а также содержание в водной вытяжке 1:5 ионов карбоната и бикарбоната, хлорида, сульфата, содержание калия и натрия, кальция и магния, осуществляется анализ почвенных растворов.

Для оценки скорости изменения площади засоленных земель использованы методы регрессионного анализа с построением уравнений вида:

$$y = a_0 + a_1 t., \quad (2)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$  – оценки коэффициентов регрессии;  $t$  – номер года.

Типизация районов выполнялась методами кластерного анализа по степени засоления почвенного покрова в слое 0-1 м. Каждый район характеризовался набором из четырех количественных переменных  $X$ , соответствующих площади почв с различной степенью засоления. Набор данных для каждого года представлен 189 значениями. Площади орошаемых сельскохозяйственных угодий по районам значительно отличались: от 28 га в г. Новоалтайске до 12598 га в Немецком национальном районе. Поэтому массивы исходных данных по площадям засоленных земель были предварительно стандартизованы [20]. Для оценки засоления вычислялось отношение:

$$x_{ik} = \frac{S_{ik}}{S_{k\Sigma}}, \quad (3)$$

где  $k$  – номер района ( $k = 1..27$ );  $i$  – индекс, соответствующий степени засоления почвенного покрова ( $i = 1$  – незасоленные,  $i = 2$  – слабозасоленные,  $i = 3$  – средnezасоленные,  $i = 4$  – сильно и очень сильно засоленные);  $S_{ik}$  – площадь орошаемых земель  $k$ -го района, соответствующая степени засоления  $i$ ;  $S_{k\Sigma}$  – общая площадь орошаемых земель  $k$ -го района.

Для проведения расчетов исходно были заданы 3 кластера: кластер 1 «Слабо- и средnezасоленные», кластер 2 «Незасоленные и слабозасоленные», кластер 3 «Практически незасоленные». Районы, в которых на орошаемых сельскохозяйственных угодьях отсутствовали засоленные почвы, сразу выделялись в отдельный кластер 4 – «Незасоленные».

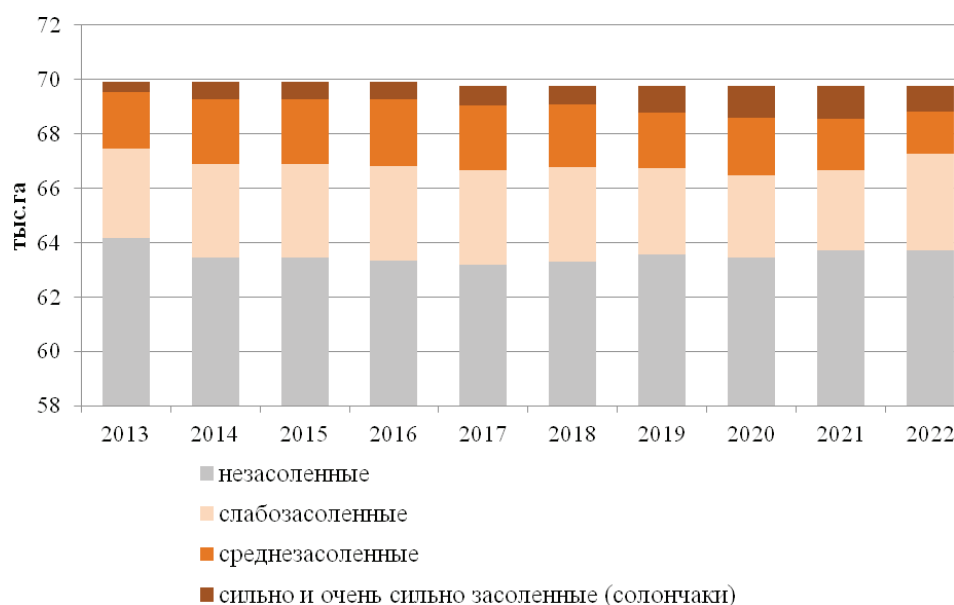
Все вычисления производились в пакете STATISTICA. Уровень значимости в расчетах принят равным 0,05. Для построения карт применены ГИС-технологии.

### Результаты и их обсуждение

Распределение орошаемых сельскохозяйственных угодий в Алтайском крае по степени засоления за 2013-2022 гг. приведено на рисунке 2.

Изменение площади орошаемых сельскохозяйственных угодий Алтайского края, на которых происходят процессы засоления, приведено в таблице 1.

Общая площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий за 10 лет практически не изменилась. Площадь засоленных почв в 2013 г. составляла 5,739 тыс. га, в 2022 г. это значение составило 6,084 тыс. га. Динамика площади сильно и очень сильно засоленных земель, полученная по модели (2), приведена на рисунке 3.



**Рис. 2.** Распределение земель оросительных систем по степени засоления почвенного покрова

**Fig. 2.** Distribution of irrigation system land by degree of soil salinity

Таблица 1

### Состояние орошаемых земель Алтайского края

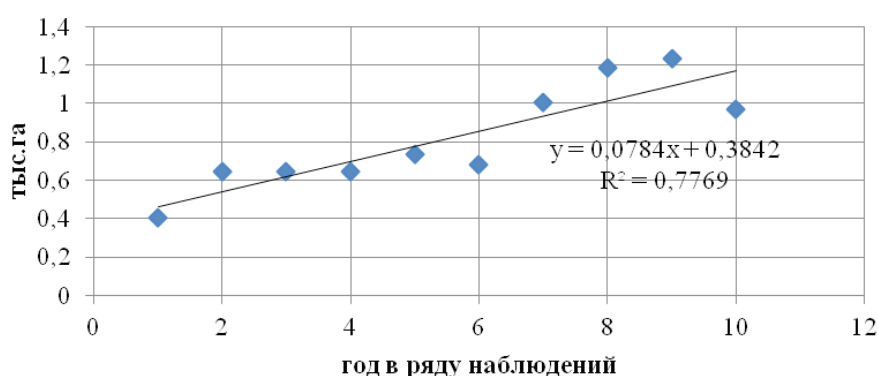
| Категория                                     | 01.01.2013 г., тыс. га | 01.01.2022 г., тыс. га | 2022 г. к 2013 г., % |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| площадь орошаемых сельскохозяйственных угодий | 69,924                 | 69,784                 | -0,2%                |
| Степень засоленности почв в слое 0-1 м        |                        |                        |                      |
| - незасоленные                                | 64,185                 | 63,700                 | -0,8%                |
| - слабозасоленные                             | 3,278                  | 3,552                  | +8,4%                |
| - средnezасоленные                            | 2,057                  | 1,562                  | -24,1%               |
| - сильно и очень сильно засоленные            | 0,404                  | 0,970                  | +140,1%              |

Table 1

## State of irrigated land in the Altai Territory

| Категория                                  | 01.01.2013 (thous,ha) | 01.01.2022 (thous,ha) | 2022 to 2013 (%) |
|--------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| area of irrigated farmland                 | 69.924                | 69.784                | -0.2%            |
| Degree of soil salinity in the 0-1 m layer |                       |                       |                  |
| - non-saline                               | 64.185                | 63.700                | -0.8%            |
| - slightly saline                          | 3.278                 | 3.552                 | +8.4%            |
| - medium saline                            | 2.057                 | 1.562                 | -24.1%           |
| - highly and very highly saline            | 0.404                 | 0.970                 | +140.1%          |

По фактическим значениям была построена модель парной линейной регрессии и выполнена проверка ее статистического качества. Площадь сильно и очень сильно засоленных почв на орошаемых массивах возрастает со скоростью 0,078 тыс. га/год. Причиной развития процессов засоления почв могут быть несоблюдение технологий поливов, неудовлетворительная работа дренажа, близкое расположение минерализованных грунтовых вод, полив минерализованной водой. Основной способ полива на оросительных системах края – дождевание, в качестве источников орошения используются поверхностные воды. При общей орошаемой площади свыше 69 тыс. га дренажом обеспечено 14,7 тыс. га, из них 98% площади имеют закрытый горизонтальный дренаж. Сравнение уровня грунтовых вод на территории оросительных систем в 2013 и 2022 гг. приведено в таблице 2.



◆ сильно и очень сильно засоленные (солончаки)

— Линейная (сильно и очень сильно засоленные (солончаки))

Рис. 3. Динамика площади орошаемых земель, подверженных засолению, за 2013-2022 гг.

Fig. 3. Dynamics of the area of irrigated land subject to salinisation for 2013-2022

Таблица 2

## Площадь орошаемых земель с уровнем грунтовых вод, тыс. га

|             | менее 1,0 м | от 1 до 1,5 м | от 1,5 до 2,0 м | от 2 до 3 м | от 3 до 5 м | более 5 м |
|-------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|-----------|
| 01.01.2013  | -           | 0,257         | 2,603           | 8,328       | 15,567      | 43,069    |
| 01.01.2022  | 0,008       | 0,131         | 0,561           | 6,939       | 19,029      | 43,116    |
| 2022 к 2013 | 0,008       | -0,126        | -2,042          | -1,389      | 3,362       | 0,047     |

Table 2

**Area of irrigated land with groundwater level, thous.ha**

|              | less than 1.0 m | 1.0 to 1.5 m | 1.5 to 2.0 m | 2 to 3 m | 3 to 5 m | more than 5 m |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------|----------|---------------|
| 01.01.2013   | -               | 0.257        | 2.603        | 8.328    | 15.567   | 43.069        |
| 01.01.2022   | 0.008           | 0.131        | 0.561        | 6.939    | 19.029   | 43.116        |
| 2022 to 2013 | 0.008           | -0.126       | -2.042       | -1.389   | 3.362    | 0.047         |

Высота капиллярного поднятия влаги для обыкновенных и южных черноземов составляет 1.2...2,0 м, для каштановых и темно-каштановых супесчаных почв – 1,0...1,2 м. При этом гранулометрический состав для обыкновенных и южных черноземов характеризуется преобладанием фракций крупной пыли (28,4±5,6%) и ила (35,5±6,8%). Чем тяжелее гранулометрический состав, тем богаче минеральный состав, больше валовых и подвижных веществ питания растений, активнее гумусо-аккумулятивные и структурообразующие процессы, выше поглощательные способности, теплоемкость и влагоемкость, ниже водопроницаемость и воздухопроницаемость. Степень водопроницаемости почв является своеобразным естественным регулятором их адаптации к засолению.

За анализируемый период доля земель с залеганием грунтовых вод меньше 1 м в общей орошаемой площади увеличилась всего на 0.01%, с глубиной 1...1,5 м и 1,5...2 м – уменьшилась с 4,09 до 0,99%. Доля площади орошаемых земель с залеганием грунтовых вод на глубине от 3 до 5 м и более 5 м увеличилась с 84 до 89%. Возможно, засоление земель было вызвано перераспределением солевых запасов глубоких почвенных горизонтов в коренобитаемые горизонты без общего подъема грунтовых вод.

Сравнение площади орошаемых земель по минерализации грунтовых вод и минерализации оросительной воды в 2013 и 2022 гг. приведено в таблице 3.

Минерализация грунтовых вод менее 1 г/л наблюдалась на 89,3% орошаемой площади в 2013 г. В 2022 г. доля таких земель снизилась на 2,9%. Доля орошаемой площади с минерализацией грунтовых вод 1...3 г/л увеличилась на 2,8% (исходно – 10,6%). Доля площади, на которой минерализация грунтовых вод свыше 3 г/л, возросла с 0,1 до 0,2%.

Минерализация оросительной воды свыше 1 г/л в аридных зонах при отсутствии дренажа является фактором, вызывающим засоление почв. В 2013 г. 82,8% площади орошалось водой с минерализацией ниже 1 г/л, в 2022 г. доля таких площадей увеличилась на 2,1%. На 4,5% снизилась доля площади, орошаемой водой с минерализацией 1...2 г/л (с 17,2 до 12,6%). Если в 2013 г. оросительных вод с минерализацией свыше 2 г/л не было, в 2022 г. доля площади, орошаемой такими водами, составила 2,4%.

Таблица 3

**Площадь земель с минерализацией оросительной воды, тыс. га**

|                   | Минерализация грунтовых вод, г/л |               |           | Минерализация оросительной воды, г/л |               |           |
|-------------------|----------------------------------|---------------|-----------|--------------------------------------|---------------|-----------|
|                   | менее 1,0                        | от 1,0 до 3,0 | более 3,0 | менее 1,0                            | от 1,0 до 2,0 | более 2,0 |
| 01.01.2013        | 62,441                           | 7,438         | 0,045     | 57,907                               | 12,017        | 0         |
| 01.01.2022        | 60,266                           | 9,39          | 0,128     | 59,289                               | 8,822         | 1,673     |
| 2022 г. к 2015 г. | -2,175                           | 1,952         | 0,083     | 1,382                                | -3,195        | 1,673     |

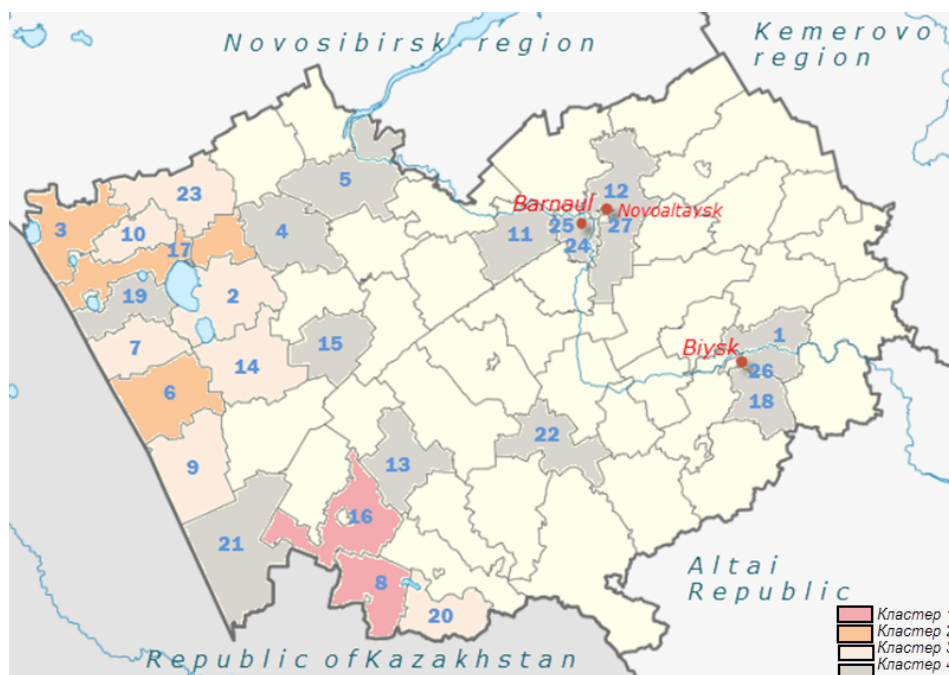
Table 3

**Area of land with irrigation water salinity, thous. ha**

|              | Groundwater salinity, g/l |            |               | Irrigation water salinity, g/l |            |               |
|--------------|---------------------------|------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|
|              | less than 1.0             | 1.0 to 3.0 | more than 3.0 | less than 1.0                  | 1.0 to 2.0 | more than 2.0 |
| 01.01.2013   | 62.441                    | 7.438      | 0.045         | 57.907                         | 12.017     | 0             |
| 01.01.2022   | 60.266                    | 9.39       | 0.128         | 59.289                         | 8.822      | 1.673         |
| 2022 to 2015 | -2.175                    | 1.952      | 0.083         | 1.382                          | -3.195     | 1.673         |

По данным о площадях засоленных почв на 01.01.2022 г., с использованием соотношения (3) был выполнен кластерный анализ. Кластеризация выполнялась методом k-средних, для расчетов использован программный комплекс STATISTICA. По степени засоления почв на территории Алтайского края было выделено 4 кластера, или типичные группы районов (рис. 4).

Первый кластер «Слабо- и средnezасоленные» включал в себя 2 района с орошаемой площадью 11,374 тыс. га. Средние значения в кластере: 66% – площади незасоленные; 23,2% – слабозасоленные; 6,3% – средnezасоленные. Второй кластер «Незасоленные и слабозасоленные» включал в себя 3 района с орошаемой площадью 11,633 тыс. га. Средние значения в кластере: 88,2% – площади незасоленные; 5,7% – слабозасоленные; 5,1% – средnezасоленные. Третий кластер «Практически незасоленные» включал в себя 7 районов с орошаемой площадью 31,285 тыс. га. Средние значения в кластере: 98,2% – площади незасоленные; 0,7% – слабозасоленные; 0,9% – средnezасоленные. Четвертый кластер «Незасоленные» включал в себя 15 районов с орошаемой площадью 15,632 тыс. га, на которой засоление почв в слое 0...1 м не наблюдалось.



**Рис. 4.** Типизация районов Алтайского края по степени засоления мелиорируемых сельскохозяйственных угодий.

Условные обозначения (районы): 1 – Бийский; 2 – Благовещенский; 3 – Бурлинский; 4 – Егорьевский; 5 – Каменский; 6 – Ключевской; 7 – Кулундинский; 8 – Локтевский; 9 – Михайловский; 10 – Немецкий национальный; 11 – Павловский; 12 – Первомайский; 13 – Пospелихинский; 14 – Родинский; 15 – Романовский; 16 – Рубцовский; 17 – Славгородский; 18 – Советский; 19 – Табунский; 20 – Третьяковский; 21 – Угловский; 22 – Усть-Калманский; 23 – Хабарский; 24, 25 – г. Барнаул; 26 – г. Бийск; 27 – г. Новоалтайск

**Fig. 4.** Typification of the Altai Territory districts according to the degree of salinization of reclaimed agricultural land  
Legend (districts): 1 – Biysky; 2 – Blagoveshchensky; 3 – Burlinsky; 4 – Egor'yevsky; 5 – Kamensky; 6 – Klyuchevsky; 7 – Kulundinsky; 8 – Loktevsky; 9 – Mikhailovsky; 10 – German National; 11 – Pavlovsky; 12 – Pervomaysky; 13 – Pospelikhinsky; 14 – Rodinsky; 15 – Romanovsky; 16 – Rubtsovsky; 17 – Slavgorodsky; 18 – Sovetsky; 19 – Tabunsky; 20 – Tretyakovsky; 21 – Uglovsky; 22 – Ust-Kalmansky; 23 – Khabarsky; 24, 25 – Barul; 26 – Biysk; 27 – Novoaltaysk

## Выводы

В отличие от других регионов Российской Федерации на территории Алтайского края за последние 10 лет снижения площади орошаемых сельскохозяйственных угодий практически не было. Для региона характерна крайне небольшая доля площади орошаемых земель, имеющих сильную и очень сильную степень засоления в слое 0...1 м – всего 1,5% от общей площади орошаемых сельскохозяйственных угодий.

За 2013-2022 гг. отмечены негативные тенденции снижения площади незасоленных земель. Анализ динамики площади орошаемых земель по степени засоления выявил снижение доли незасоленных почв на 0,8%, средnezасоленных почв – на 24,1%, при одновременном росте слабозасоленных почв на 8,4%, сильно и очень сильно засоленных почв – практически в 1,4 раза. Средняя скорость увеличения площади сильно и очень сильно засоленных земель (солончаков), определенная по модели, составляет 0,078 тыс. га в год. Причинами этого являются повышение уровня грунтовых вод на части оросительных систем и рост минерализации оросительной воды в их пределах.

Методами кластерного анализа районы Алтайского края были сгруппированы по структуре и доле площадей сельскохозяйственных угодий, имеющих различную степень засоления. Наибольшую площадь имели 7 районов, включенных в кластер «Практически незасоленные земли», – 31,285 тыс. га. Кластер «Незасоленные земли» включал в себя 15 районов площадью 15,632 тыс. га; кластер «Незасоленные и слабозасоленные» – 3 района площадью 11,633 тыс. га; кластер «Слабо- и средnezасоленные» – 2 района с площадью орошаемых сельхозугодий 11,374 тыс. га.

Результаты исследований могут быть использованы органами государственной власти и организациями мелиоративного комплекса Алтайского края при планировании мелиоративных мероприятий по повышению качества сельскохозяйственных угодий.

## Список источников

1. Aadhityaa M., Naganna S.R., Al-Ansari N. Irrigation Induced Salinity and Sodicty Hazards on Soil and Groundwater: An Overview of Its Causes, Impacts and Mitigation Strategies // Agriculture (Switzerland). – 2021. – № 11 (10). – P. 983. doi:10.3390/agriculture11100983.
2. Bavi A., Kashkuli H.A., Boroomand S. et al. Evaporation Losses from Sprinkler Irrigation Systems under Various Operating Conditions // Journal of Applied Sciences. 2009. – 2009. – V. 9. – Pp. 597-600. doi: 10.3923/jas.2009.597.600.
3. Bilgili A.V., Yeşilnacar İ., Akihiko K. et al. Post-irrigation degradation of land and environmental resources in the Harran plain, southeastern Turkey // Environ Monit Assess. – 2018. – P. 660. doi: 10.1007/s10661-018-7019-2.
4. Castro F.C., Santos A.M. Salinity of the Soil and the Risk of the Desertification in the Semiarid Region // Mercator, Fortaleza. – 2019. – V. 19. doi: 10.4215/rm2020.e19002.
5. Daliakopoulos I.N., Tsanis I.K., Koutroulis A. et al. The threat of soil salinity: A European scale review // Science of The Total Environment. – 2016. – V. 573. – Pp. 727-739. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.177.
6. Dechmi F., Playán E., Faci J.M. et al. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling // Agricultural Water Management. – 2003. – V. 61, iss. 2. – Pp. 93-109. doi: 10.1016/S0378-3774(03)00021-0.
7. Hoffman T.M., Simon T. A National Review of Land Degradation in South Africa: The Influence of Biophysical and Socio-economic Factors // Journal of Southern African Studies. – 2000. – Pp. 743-758. doi: 10.1080/713683611.
8. Krasnoyarova B.A., Orlova I.V., Plutalova T.G. et al. Landscape-Ecological Assessment of Dry Lands of the Russian-Kazakhstan Border Zone for Sustainable Land Use // Arid Ecosyst. – 2019. V. 9. – Pp. 150-156. doi: 10.1134/S2079096119030065.
9. Kust G., Andreeva O., Lobkovskiy V., Telnova N. Uncertainties and policy challenges in implementing Land Degradation Neutrality in Russia // Environmental Science & Policy. – 2018. – V. 89. – Pp. 348-356. doi: 10.1016/j.envsci.2018.08.010.
10. Mamontov V.G. Classification and Causes of Soil Degradation by Irrigation in Russian Steppe Agrolandscape // Advances in Understanding Soil Degradation. – 2022. doi: 10.1007/978-3-030-85682-3\_4, 10.1007/978-3-030-85682-3\_4.
11. Manickam L., Subramanian D., Khandal S. et al. Modeling and Mapping of Salt-Affected Soils through Spectral Indices in Inland Plains of Semi-arid Agro-Ecological Region // Journal of Indian Soc Remote Sens. – 2021. – № 49. – Pp. 1475-1481. doi: 10.1007/s12524-021-01321-w.

## References

1. Aadhityaa M., Naganna S.R., Al-Ansari N. Irrigation Induced Salinity and Sodicty Hazards on Soil and Groundwater: An Overview of Its Causes, Impacts and Mitigation Strategies. Agriculture (Switzerland). 2021; 11 (10): 983. DOI:10.3390/agriculture11100983
2. Bavi A., Kashkuli H.A., Boroomand S. et al. Evaporation Losses from Sprinkler Irrigation Systems under Various Operating Conditions. Journal of Applied Sciences. 2009; 9: 597-600. DOI: 10.3923/jas.2009.597.600
3. Bilgili A.V., Yeşilnacar İ., Akihiko K. et al. Post-irrigation degradation of land and environmental resources in the Harran plain, southeastern Turkey. Environ Monit Assess. 2018; 660. DOI: 10.1007/s10661-018-7019-2
4. Castro F.C., Santos A.M. Salinity of the Soil and the Risk of the Desertification in the Semiarid Region. Mercator, Fortaleza. 2019; 19. DOI: 10.4215/rm2020.e19002
5. Daliakopoulos I.N., Tsanis I.K., Koutroulis A. et al. The threat of soil salinity: A European scale review. Science of The Total Environment. 2016; 573: 727-739. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.177
6. Dechmi F., Playán E., Faci J.M. et al. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. Agricultural Water Management. 2003; 61; 2: 93-109. DOI: 10.1016/S0378-3774(03)00021-0
7. Hoffman T.M., Simon T. A National Review of Land Degradation in South Africa: The Influence of Biophysical and Socio-economic Factors. Journal of Southern African Studies. 2000; 743-758. DOI: 10.1080/713683611
8. Krasnoyarova B.A., Orlova I.V., Plutalova T.G. et al. Landscape-Ecological Assessment of Dry Lands of the Russian-Kazakhstan Border Zone for Sustainable Land Use. Arid Ecosyst. 2019; 9: 150-156. DOI: 10.1134/S2079096119030065
9. Kust G., Andreeva O., Lobkovskiy V., Telnova N. Uncertainties and policy challenges in implementing Land Degradation Neutrality in Russia. Environmental Science & Policy. 2018; 89: 348-356. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.08.010
10. Mamontov V.G. Classification and Causes of Soil Degradation by Irrigation in Russian Steppe Agrolandscape. Advances in Understanding Soil Degradation. 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-85682-3\_4, 10.1007/978-3-030-85682-3\_4
11. Manickam L., Subramanian D., Khandal S. et al. Modeling and Mapping of Salt-Affected Soils through Spectral Indices in Inland Plains of Semi-arid Agro-Ecological Region. Journal of Indian Soc Remote Sens. 2021; 49: 1475-1481. DOI: 10.1007/s12524-021-01321-w

12. *Pichu Rengasamy*. World salinization with emphasis on Australia // *Journal of Experimental Botany*. – 2006. – V. 57, iss. 5. – Pp. 1017-1023. doi: 10.1093/jxb/erj108.
13. *Qureshi A.S., McCornick P.G., Qadir M. and Aslam Z.* Managing salinity and waterlogging in the Indus Basin of Pakistan // *Agricultural Water Management*. – 2007. – V. 95, iss. 1. – Pp. 1-10. doi: 10.1016/j.agwat.2007.09.014.
14. *Schultz B., De Wrachien D.* Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century // *Irrig. and Drain.* – 2002. – V. 51. – Pp. 311-327. doi: 10.1002/ird.67
15. *Shabbir A. Shahid, Abdullah Al-Shankiti.* Sustainable food production in marginal lands: Case of GDLA member countries // *International Soil and Water Conservation Research*. – 2013. – V. 1, iss. 1. – Pp. 24-38. doi: 10.1016/S2095-6339(15)30047-2.
16. *Snezhko V.L., Benin D.M.* Dynamics of the Condition of Reclaimed Agricultural Lands in the Russian Federation // *Land*. – 2021. – V. 10. – P. 1288. doi: 10.3390/land10121288.
17. *Stoyashcheva N.V., Rybkina I.D.* Water resources of the Ob-Irtysh river basin and their use // *Water Resources*. – 2014. – V. 41. – Pp. 1-7. doi: 10.1134/S0097807814010102.
18. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) // *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. – Geneva – 2016. – Series 2. – URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3192](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3192).
19. Алтайский край в цифрах. 2017-2021: Краткий статистический сборник / Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай. – Барнаул, 2022. – 188 с. – URL: <https://akstat.gks.ru/storage/mediabank/10030.pdf>.
20. *Бенин Д.М., Снежко В.Л.* Оценка состояния земель мелиоративных систем методами кластерного анализа // *Вестник Евразийской науки*. – 2019. – № 4. – URL: <https://esj.today/PDF/51SAVN419.pdf?ysclid=lfgz8mrwxc937111492>.
21. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году. – Москва: Росреестр, 2021. – 197 с. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/>.
22. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 384 с. – URL: [https://mcx.ac.ru/monitoring-zemel/state\\_land/](https://mcx.ac.ru/monitoring-zemel/state_land/).
23. *Локтева Ж.В., Самойлова Г.С. и др.* Алтайский край // *Большая российская энциклопедия*. – URL: <https://bigenc.ru/geography/text/5214957>.
24. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: Информационное издание. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех». – URL: [https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com\\_attachments&task=download&id=569](https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=569).
25. *Панкова Е.И., Конюшкова М.В., Горохова И.Н.* О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // *Экосистемы: экология и динамика*. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 26-54.
12. *Pichu Rengasamy*. World Salinisation with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*. 2006; 57; 5: 1017-1023. DOI: 10.1093/jxb/erj108
13. *Qureshi A.S., McCornick P.G., Qadir M. and Aslam Z.* Managing salinity and waterlogging in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water Management*. 2007; 95; 1: 1-10. DOI: 10.1016/j.agwat.2007.09.014
14. *Schultz B., De Wrachien D.* Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrig. and Drain*. 2002; 51: 311-327. DOI: 10.1002/ird.67
15. *Shabbir A. Shahid, Abdullah Al-Shankiti.* Sustainable food production in marginal lands: Case of GDLA member countries. *International Soil and Water Conservation Research*. 2013; 1; 1: 24-38. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30047-2
16. *Snezhko V.L., Benin D.M.* Dynamics of the Condition of Reclaimed Agricultural Lands in the Russian Federation. *Land*. 2021; 10: 1288. DOI: 10.3390/land10121288
17. *Stoyashcheva N.V., Rybkina I.D.* Water resources of the Ob-Irtysh river basin and their use. *Water Resources*. 2014; 41: 1-7. DOI: 10.1134/S0097807814010102
18. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines. Geneva, 2016: 2. URL: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3192](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3192)
19. The Altai Territory in figures. 2017-2021: Brief statistical digest. Department of the Federal State Statistics Service for The Altai Territory and the Republic of Altai. Barnaul, 2022: 188. URL: <https://akstat.gks.ru/storage/mediabank/10030.pdf> (In Rus.)
20. *Benin D.M., Snezhko V.L.* Estimation of the state of land reclamation systems by methods of cluster analysis. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*. 2019; 4. URL: <https://esj.today/PDF/51SAVN419.pdf?ysclid=lfgz8mrwxc937111492> (In Rus.)
21. State (National) Report on the State and Use of Land in the Russian Federation in 2020. Moscow: Rosreestr, 2021: 197. URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/> (In Rus.)
22. Report on the State and Use of Agricultural Land in the Russian Federation in 2020. M.: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2022: 384. URL: [https://mcx.ac.ru/monitoring-zemel/state\\_land/](https://mcx.ac.ru/monitoring-zemel/state_land/) (In Rus.)
23. *Lokteva Zh.V., Samoylova G.S. et al.* The Altai Territory. *Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya*. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/5214957> (In Rus.)
24. Land reclamation complex of the Russian Federation: Information publication. Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”. URL: [https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com\\_attachments&task=download&id=56](https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=56) (In Rus.)
25. *Pankova E.I., Konyushkova M.V., Gorokhova I.N.* On the problem of assessing soil salinity and the methodology for large-scale digital mapping of saline soils. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*. 2017; 1; 1: 26-54. (In Rus.)

26. Природно-мелиоративная оценка земель в Алтайском крае / АН СССР, Сибирское отделение, Институт географии; Под ред.: Ю.И. Винокуров, Ю.М. Цимбалей, Т.А. Пудовкина и др. – Иркутск, 1988. – 140 с.

27. Часовских В.П., Давыдов А.С. Состояние мелиоративной отрасли в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 11 (85). – С. 33-35. – URL: [https://www.asau.ru/vestnik/2011/11/Agroecology\\_Chasovskih.pdf/](https://www.asau.ru/vestnik/2011/11/Agroecology_Chasovskih.pdf/).

#### Информация об авторах

**Вера Леонидовна Снежко**, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов, д-р техн. наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [vlisnejko@rgau-msha.ru](mailto:vlisnejko@rgau-msha.ru); orcid: 0000-0002-3968-0563.

**Дмитрий Михайлович Бенин**, доцент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, канд. техн. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [dbenin@rgau-msha.ru](mailto:dbenin@rgau-msha.ru); orcid: 0000-0003-1265-4071.

**Надежда Владимировна Гавриловская**, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов, канд. техн. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: [gavrilovskayanv@rgau-msha.ru](mailto:gavrilovskayanv@rgau-msha.ru); orcid: 0000-0001-5060-7837.

Статья поступила в редакцию 26.11.2022  
Одобрена после рецензирования 18.01.2023  
Принята к публикации 31.08.2023

26. Yu.I. Vinokurov Yu.M. Tsimbaley, T.A. Pudovkina et al. Natural reclamation land assessment in the Altai Territory. AN SSSR, Sibirskoe otделение, Institut geografii. Irkutsk. 1988: 140. (In Rus.)

27. Chasovskikh V.P., Davydov A.S. The state of the reclamation industry in the Altai Territory. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011; 11 (85): 33-35. URL: [https://www.asau.ru/vestnik/2011/11/Agroecology\\_Chasovskih.pdf/](https://www.asau.ru/vestnik/2011/11/Agroecology_Chasovskih.pdf/) (In Rus.)

#### About authors

**Vera L. Snezhko**, Dsc (Eng), Professor, Head of the Department of Computer-Aided Design and Engineering Calculations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: [vlisnejko@rgau-msha.ru](mailto:vlisnejko@rgau-msha.ru), orcid: 0000-0002-3968-0563.

**Dmitrii M. Benin**, CSc (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Water Supply, Sanitation, Pumps and Pumping Stations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: [dbenin@rgau-msha.ru](mailto:dbenin@rgau-msha.ru), orcid: 0000-0003-1265-4071.

**Nadezhda V. Gavrilovskaya**, CSc (Eng) Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer-Aided Design and Engineering Calculations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; E-mail: [gavrilovskayanv@rgau-msha.ru](mailto:gavrilovskayanv@rgau-msha.ru), orcid: 0000-0001-5060-7837.

The article was submitted to the editorial office 26 Nov 2022  
Approved after reviewing 18 Jan 2023  
Accepted for publication 31 Aug 2023