

## CREATING AND EVALUATING OF HELICAL-BEVEL GEAR 3D MODEL OF MINING MACHINERY TRANSMISSION

Q.H. PHAM<sup>1</sup>, Cand. Sc., H.T. DINH<sup>1</sup>, Postgraduate,  
V.T. PHAM<sup>1</sup>, Postgraduate, M.Yu. KUKHAR<sup>2</sup>, Postgraduate

<sup>1</sup>Le Qui Don Technical University,  
100, Hoang Quoc Viet st., Hanoi, Vietnam, e-mail: phqhoang@gmail.ru  
<sup>2</sup>National Research Technological University "MISIS",  
Building 1, 4, Leninsky pr., Moscow, 119049, e-mail: artvik@bk.ru

The article presents the main stages of creating a 3D model of a helical-bevel gear train using the Autodesk Inventor software package. The 3D model of the gears transmissions was constructed by calculating the coordinates of a grid of points on the tooth surface in the MITCalc software module. The results of checking the geometric parameters and evaluating the engagement of the computer model confirm its high accuracy and good convergence with the design calculations. The resulting virtual copy can be used to simulate the operation of a helical-bevel gear transmission, as well as in the manufacture and repair of its elements.

*Keywords:* Helical-bevel gear, mining machines, design, 3D model, Autodesk Inventor, MITCalc, geometric parameters, accuracy, operability.

Поступила в редакцию/received: 21.04.2025; после рецензирования/revised: 27.04.2025;  
принята/accepted: 30.04.2025

УДК 504.062

## ТЕХНОГЕННОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

А.С. ДАНИЛОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Э.А. КРЕМЧЕЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., д. 2, e-mail: Danilov\_AS@pers.spmi.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
190121, Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16, e-mail: kremcheev@mail.ru

© Данилов А.С., Кремчев Э.А., 2025

Засоление считается основным фактором, который негативно воздействует более чем на 1 млрд га почв в мире и продолжает увеличиваться на 1,5 млн га/год. Проблема засоления в первую очередь связана с сельскохозяйственными землями аридных зон, однако горнодобывающие предприятия также способствуют росту площадей засоленных почв, извлекая рассолы и вскрышные породы на поверхность. Процессы засоления в арктических регионах России протекают более остро, поскольку соли способствуют развитию термокарста, термоэрозии и солифлюкции, вследствие

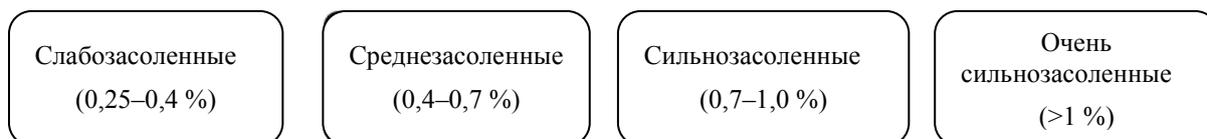
чего углубляется уровень вечной мерзлоты и образуются хемоземы вблизи промышленных объектов. Ученые рассматривают различные методы рекультивации засоленных почв, среди которых можно выделить три направления: повышение солеустойчивости растений, подбор растений (галофитов) и повышение биогенности техногрунтов. Однако в регионах с суровыми климатическими условиями и низкой биологической продуктивностью методы восстановления требуют тщательного подбора, особенно на нарушенных почвах в горнодобывающей промышленности. Цель данной обзорной статьи заключается в том, чтобы, используя доступные литературные данные, осветить основные методы рекультивации территорий, пострадавших от засоления в горнодобывающей промышленности, особенно в условиях Крайнего Севера.

*Ключевые слова:* деградация почв, засоление, вторичное засоление, Крайний Север, солеустойчивость, галофиты, увеличение биогенности.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2025-3-80-93**

### ВВЕДЕНИЕ

Почвы с преобладанием в химическом составе легкорастворимых минеральных солей, концентрации которых губительны для растений (>0,25 %), называются *засоленными*. Это основной фактор деградации почв, уменьшающий количество плодородных почв [1]. Классификация почв по количеству в них солей представлена на рисунке.



Классификация почв по степени засоления [2]

При рассмотрении вопросов деградации почв современными отечественными исследователями во главе с Э.Н. Молчановым совместно с иностранными учеными, также рассматривающими данную проблему, на основе апробированных ранее подходов к классификации деградируемых почв выделены основные виды деградации, представленные в табл. 1 [3].

Таблица 1. Основные виды деградации почв, общее количество и их прирост в период с 2018–2020 гг. [3]

Вид деградации	Общее количество, млн га	2018 г.	2019 г.	2020 г.
		тыс. га		
Ветровая эрозия	210	1 252	1 643	1 136
Водная эрозия	235	2 048	2 467	2 467
Засоление	172	241	277	235
Переувлажнение	197	722	849	830

Данные процессы негативного изменения почвенного покрова в большей степени связаны с антропогенным вмешательством человека. В связи с интенсификацией процессов деградации почвенного покрова увеличивается количество постов мониторинга для наблюдения за состоянием почв и прогнозирования их качественного и количественного изменения [3, 4].

Мониторинг большинства процессов деградации совершенствуется с каждым годом, однако вести наблюдение за засоленными почвами и их учет наиболее затруднительно. Связано это с тем, что процесс засоления-рассоления динамичен [5, 6]. Рассматривая проблему засоления почв в РФ, Е.И. Панкова (2020) акцентирует внимание на том, что учетные данные устарели (материалы не обновлялись с середины 80-х годов прошлого века) и отсутствует общепринятая методика, учитывающая количество легкорастворимых солей в слоях почв для установления категории засоленности [1, 7].

С увеличением количества солей в почве растения, получая питательные вещества при помощи корней, угнетаются: кутикула (защитный слой поверхности листьев) становится более тонкой, на листьях появляются ожоги, наступает некроз внешних краев листьев [8]. Изменяется и мембранный потенциал, за счет чего в клетки растений поступает ион  $\text{Na}^+$ , замещая поступление ионов  $\text{K}^+$  в калиевых каналах [9, 10].

И.К. Саболич отмечает, что количество засоленных почв составляет 950 млн га (естественное, первичное засоление), Г. Меттернихт приводит количество вторично засоленных почв – 77 млн га. Согласно данным ООН, содержащимся в докладе о «Состоянии мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства», общее количество засоленных почв ежегодно увеличивается на 1,5 млн га [11, 12].

Сегодня количество таких почв составляет более 25 % от поверхности суши Земли (>20 млн км<sup>2</sup>). В РФ процессу засоления подвержено свыше 20 % сельскохозяйственных (>40 млн га) угодий и свыше 10 % (>170 млн га) земель от общего количества земель.

На Крайнем Севере количество земель, подверженных процессам засоления, составляет 34 млн га, или 6,2 % земель данной территории (550 млн га). Основными центрами засоления в пределах Крайнего Севера являются:

Арктическое побережье Евразии и острова с варьированием солености от 0,05 до 2 %, при этом в некоторых горизонтах наблюдается засоление вплоть до 6 %;

долина реки Лены (Центральная Якутии), где засоленные почвы (в среднем 2 %, в некоторых горизонтах засоление может достигать 8 %) формируются за счет превышения испарения над количеством осадков и увеличения количества солей континентального типа [13, 14].

Площадь угодий, подверженных данной деградации, но при этом способных войти в сельскохозяйственный оборот, достигает 340 млн га по всему миру, порядка 12 млн га из которых приходится на территорию Крайнего Севера, где основой сельского хозяйства является разведение и выпас оленей.

Значительное влияние на распространение солей в почве оказывает их физический состав. Согласно данным Индонезийского агентства сельскохозяйственных исследований и разработок, на песчаных побережьях после их продолжительного затопления морской водой засоление проявляется незначительно в связи с высоким уровнем просачиваемости и слабых соединительных свойств песчаных почв, в отличие от глинистых пород [11].

Данные суждения справедливы и для Арктического побережья, где выявлена прямая зависимость количества солей в мерзлых грунтах от физического состава последних. Содержание легкорастворимых солей в песчаных породах до 8 раз меньше по сравнению с глинистыми. В песках соленость варьируется от 0,2 до 0,5 %, в супесях, суглинках и глинах изменяется в пределах от 0,4 до 2,1 % [15, 16].

Под влиянием солей происходят изменения биохимических характеристик растений за счет биосинтеза совместимых метаболитов (различных низкомолекулярных веществ – аминокислот, моносахаридов, спиртов), при этом рост синтеза определенных гормонов благоприятствует дисбалансу между их концентрациями. В итоге осуществляются глубокие изменения, способствующие модификациям фотосинтеза [6, 17].

Накопление солей также связано с гранулометрическим составом почвы – соотношением почвенных частиц разного диаметра [18]. Увеличение мелкой фракции почвенных частиц приводит к увеличению их эффективного диаметра, а значит, к изменению физических параметров, и профиль уменьшения или накопления солей будет характеризоваться водной плоскостью [19, 20].

Вопрос засоления почв актуален при добыче не только солей, но и других полезных ископаемых. На территориях Западной Якутии и ее алмазонасыщенной провинции распространены насыщенные рассолы метегеро-ичерского водоносного комплекса, залегающие в горных породах под слоем многолетнемерзлых пород. Их средняя минерализация варьируется от 35 до 294 мг/л, причем данный показатель увеличивается с глубиной. В Западной Якутии почвы и грунты характеризуются слабым типом засоления [21].

О.В. Шадринова отмечает, что первичное засоление имеет слабовыраженный характер (сульфатный/сульфатно-хлоридный) с последующим формированием поверхностного засоленного горизонта [22]. При миграции солей по профилю происходит формирование надмерзлотного солевого горизонта, служащего источником вторичного засоления почв [22, 23].

В Республике Саха (Якутия) общая площадь засоленных почв составляет более 9,5 тыс км<sup>2</sup> [9]. Наибольшая часть деградированных земель расположена в Западной Якутии, являющейся центром алмазодобычи.

На коренном алмазном руднике «Удачный» были обнаружены подземные рассолы, проникающие в трещинно-поровое пространство в глубокозалегаемых горизонтах и отличающиеся высокой минерализацией (>600 г/дм<sup>3</sup>) [24]. Вследствие разработки данного месторождения происходит как откачка данных рассолов с последующей закачкой их в толщу отработанных шахт либо с поднятием их на поверхность, так и извлечение вскрышных пород на поверхность с формированием отвалов/хвостохранилищ с высоким показателем засоленности. На сегодняшний день из данного месторождения было извлечено свыше 380 млн м<sup>3</sup> вскрышных пород [20].

В Мирнинском районе, включающем более 0,5 тыс. га засоленных почв, распространены такие свиты в пределах кимберлитовых полей, в которых соленасыщенность составляет 60...85 %. Солесодержащие породы приобретают особые реологические свойства, что проявляется в виде интенсивной ползучести. Это затрудняет процессы извлечения и способствует просачиванию солей из толщ отвалов/хвостов в почвы с формированием новых почв – хемоземов [25, 26]. Основными ионами засоления служат хлорид- и сульфат-ионы [27, 28].

Стоит отметить, что засоление как верхних, так и нижних профилей почвы с многолетнемерзлыми породами способствует их трансформации из твердомерзлого состояния в пластично-мерзлое и немерзлое состояние [24, 29].

В данной обзорной статье, используя доступные источники, осветим используемые методы рекультивации территорий (прежде всего Крайнего Севера), пострадавших от засоления в горнодобывающей промышленности.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материалов исследования были использованы публикации в научных журналах, в той или иной мере затрагивающие тему техногенного засоления почв, в том числе в районах Крайнего Севера.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы приблизить плодородный потенциал нарушенных земель к показателям, присущих им до начала антропогенного использования, в период проведения восстановительных (рекультивационных) мероприятий необходимо контролировать и регулировать химический, водный, тепловой, питательный и другие режимы [30, 31].

В.О. Лапинская выделяет семь основных методов снижения засоления (табл. 2).

Таблица 2. Основные методы снижения засоления [32]

№	Метод	Описание
1	Рассоляющий дренаж	Применяется на участках, где необходимо углубить уровень грунтовых вод, в засушливых регионах
2	Удаление солей механическим путем	Удаление солевой корки солончаков / сильнозасоленных почв при помощи специализированной техники
3	Запашка солей	Проводится на слабозасоленных почвах при наличии мощного гумусового горизонта и при условии, что в глубине профиля соли не распространены. Осуществляется путем вспахивания нарушенного участка
4	Промывка поверхностного слоя	Промывка корнеобитаемого слоя тяжелых почв с низкой водопроницаемостью и высоким содержанием солей в данном слое. Объем забора воды до 30 тыс. м <sup>3</sup> /га
5	Вымывание солей	Применяется на слабозасоленных почвах с глубоким уровнем грунтовых вод. При этом многолетние растения должны быть устойчивы, а для новых саженцев созданы оптимальные условия на первых этапах вегетации

№	Метод	Описание
6	Сквозная промывка	Вымывание легкорастворимых солей со всей толщи почвенного горизонта с последующим их переносом в грунтовые воды и их своевременное удаление при помощи дренажа (искусственного/естественного)
7	Биологическая рекультивация	Предполагает закрепление почвенного слоя при помощи корневой системы выращиваемых растений для снижения ветровой/водной эрозии с восстановлением ландшафта (возможно использование галофитов, специальных ферментов, клубеньковых бактерий, различных удобрений и т.д.)

В районах Западной Сибири в связи с продолжительными и холодными зимами с избыточным количеством снеговых осадков предполагается применение дренажных систем наряду с гипсованием и использованием растений-галофитов.

Планируется зимой накапливать воду в виде снега, а с наступлением весны использовать накопленный ресурс для промывки почв. М.В. Носова предполагает, что в течение теплого периода года поступающая дождевая вода и система «рассоляющих дренажных канав» будут способствовать горизонтальной миграции легкорастворимых солей в верхних профилях почвы и стабилизировать их концентрацию [33].

Запашка засоленных грунтов неэффективна вследствие того, что соли распространены по всему профилю и удаление солевых корочек в случае их формирования будет способствовать ветровой эрозии, а вымывание, промывание ведут к просачиванию легкорастворимых солей в поверхностные горизонты, на которых и происходит складирование вскрышных пород [6]. Биологический этап рекультивации включает в себя комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, нацеленных на снижение засоленности и приведение техногенно нарушенных земель в состояние, близкое к естественному [34].

Данные критерии справедливы и для регионов Крайнего Севера, но с некоторыми оговорками. Так, при попытке промывания и вымывания солей будет изменяться уровень многолетнемерзлых пород, увеличиваться количество пластично-мерзлых почв, а соли мигрируют в соседние почвы с образованием хемоземов [35, 36].

В ходе анализа источников установлено, что в своей основе методы рекультивации засоленных территорий можно разделить на следующие три направления.

### 1. Повышение солеустойчивости растений

Галобиомы – комплекс генов галофитов, активно изучаются с целью выделения генов отвечающих за их устойчивость к солесодержанию в почве. Некоторые из таких генов способны перекодировать ферменты, принимающие участие в формировании осмопротекторов и авкапоринов, антиоксидантов и нескольких видов бактерий [37, 38].

Ярким примером галобиомов служат такие растения, как ежовник солончаковый (*S. salsa*), прибрежница (*Aeluropus littoralis*), люцерна посевная (*Medicago sativa*) [39]. Изучение генетической цепочки данных растений позволяет создавать связи, более устойчивые к высоким содержаниям солей в почве. Так, опытным путем доказано, что трансплантация генов, отвечающих за регулировку течения  $Na^+$  в рис посевной (*Oryza*

*sativa*) и томат (*Solanum esculentum*) с последующим добавлением *NaCl* способствует увеличению сухого вещества.

С.Я. Семененко, изучая изменение засоленности почвы при ее рекультивации, проводил эксперимент, связанный с внесением в деградированные почвы ферментативного комплекса (*НС-Zyme*), представляющего собой смесь ферментов, относящихся к классу оксигеназ и синтезируемых из сахарной свеклы [39]. В результате лабораторного исследования была установлена положительная тенденция к снижению солесодержания в почве при использовании ферментативной биостимуляции растений, а также определена пограничная концентрация данного вещества, составляющая 7,5 мг/л.

Е.О. Симоновой с соавторами [40] рассматривалась возможность повышения устойчивости растений к климатическим условиям Крайнего Севера и засоленности почв с применением ассоциативных микроорганизмов рода *Achromobacter* (грамотрицательная, оксидазо- и каталазоположительная палочковидная бактерия). При внесении биодобавки с содержанием данного микроорганизма в почвы с хлоридным типом засоления наблюдалось увеличение прорастания семян на 40 %, длина ростков увеличилась на 59 %, их масса стала вдвое больше, на 13,5 % увеличилась корневая масса растений.

## 2. Подбор стрессоустойчивых растений (галофитов)

В Арктической части России и на Крайнем Севере, особенно у берегов Белого и Печорского морей, широко распространены, в частности, следующие растения-галофиты: злаковые (*Poaceae*) – 26 видов, осоковые (*Cyperaceae*) – 17 видов, астровые (*Asteraceae*) – 8 видов [41]. Сравнительная характеристика различных растений-галофитов представлена в табл. 3.

Таблица 3. Перспективность использования растений-галофитов в условиях Крайнего Севера [составлено авторами]

№	Название растения	Устойчивость к засолению	Устойчивость к климатическим условиям Крайнего Севера
1	Индигофера ( <i>Indigofera</i> )	Устойчиво к хлоридным и сульфатным засолениям, азотфиксатор	Неморозостойкое, применяется в тропическом и умеренном типах климата
2	Ежовник солончаковый ( <i>S. salsa</i> )	Абсорбирует и накапливает в себе соли различного типа и увеличивает количество общего азота	Неморозостойкий, распространен в европейской части России, Азербайджане, Иране и Центральной Азии
3	Лисохвост луговой ( <i>Alopecurus pratensis</i> )	Устойчив к высоким показателям засоленности континентального типа	Характерные ареалы распространения – зоны лесотундры и тундры, переносит суровые зимы
4	Мискантус «Сорановский» ( <i>Miscanthus sacchariflorus</i> )	Пригодный тип засоления: солонцы мелкие остаточные, намного хуже произрастает на солонцах средних малонатриевых	Морозоустойчив, способен переносить температуру до $-30^{\circ}\text{C}$

### 3. Увеличение биогенности техногрунтов

Увеличение биогенности деградированных (подвергшихся засолению) почв достигается путем прироста активности микробиологических процессов [42].

Н.Н. Богатырева, рассматривая возможность применения хвостов фосфоритов для снижения засоленности почвы, разработала натуральный и безопасный мелиорант, в состав которого вошли глауконитсодержащие хвосты обогащения фосфоритов, молотая сера и активированный торф с содержанием гумусовых кислот в количестве 50 г/дм<sup>3</sup>. Основным компонентом фосфоритов является минерал глауконит (содержание до 70 %), обладающий хорошей сорбционной и ионообменной способностью и увеличивающий микробиологическую активность почв [41].

При внесении в почву от 8 до 10 т/га такого мелиоранта уже через неделю было зарегистрировано снижение засоленности в 4 раза. Однако данный метод применим только для почв с содовым (карбонатным) типом засоления.

Положительное влияние на сокращение засоленности оказывает и применение в качестве мелиорантов коагулянтов – фосфогипсов, карналлитов и твердых осадков очистки вод (артезианских и поверхностных).

Экспериментальным путем установлены необходимые концентрации мелиорантов:

для фосфогипса наибольшая фильтрационная способность достигается при внесении 1,0 г на 40 г почвы на засоленных почвах сульфатно-карбонатного типа;

для карналлита наилучшая фильтрационная способность достигается на солонцах нейтрального типа при концентрации 0,6 г на 80 мл;

твердые осадки очистки артезианских вод также обладают наилучшей фильтрационной способностью на солонцах нейтрального типа при равных дозах внесения с карналлитами, количество фильтрата составило 90 мл [43].

В Ямало-Ненецком автономном округе рассматривали возможные приемы совершенствования биологического этапа рекультивации для повышения биогенности почв.

Органогенный горизонт выполняет основную роль в продуктивном восстановлении деградированных почв. В ЯНАО он имеет малую мощность (не достигает 7 см) и полностью разрушается при техногенной нагрузке.

При рекультивации карьера нефтегазового месторождения, подвергшегося засолению вследствие откачки межпластовых вод на поверхность и выноса легкорастворимых солей (хлоридов) из шламовых амбаров был создан органогенный слой внесением торфа в количестве 1,3 тыс. м<sup>3</sup>/га вместе с известковыми удобрениями (доломитовой мукой) в количестве 7 т/га для снижения кислотности торфа и повышения содержания доступных для растений фосфатов, общего азота и калия.

Основным показателем при восстановлении нарушенных земель является наращивание корневой массы. По окончании опыта удалось достичь показателя в 84,7 % в горизонте 0–20 см по отношению к горизонту 0–30 см [43, 44].

На месторождении «Айхал», расположенном в удаленном от транспортной инфраструктуры районе, в связи с отсутствием плодородных почвенных слоев была предпринята попытка увеличения биогенности техногенных почв.

Наиболее успешными из проводимых опытов считаются:

1. Использование старики (прошлогодней луговой травы). Старики представляет собой укрывной материал, защищающий от дефляции, и способна накапливать влагу

при поливах и дождях. Когда начинаются процессы гниения, она является источником питательных веществ [18, 23, 31]. Данный способ экономически выгоден. По итогам эксперимента фиксировалось проективное покрытие 40 %, высота травостоя достигла 35 см.

2. Использование осадков канализационных очистных сооружений с площадки карьера «Юбилейный». В их состав входит смесь из воды, в которой биологически безвредные вещества прочно связаны с загрязняющими токсичными компонентами органической и неорганической природы. Проектное покрытие достигло 50 %, а высота травостоя – 30 см [45].

Неоднозначными по конечному результату являются методы биологической рекультивации на отвалах и хвостохранилищах Мирнинского горно-обогатительного комбината. Работы проводились с отсыпкой поверх токсичных грунтов плодородных пород, завезенных с месторождения «Водораздельные галечники». Отвал № 6 карьера «Мир» частично отсыпался данными породами с внесением аммофосных удобрений [45].

Ориентируясь на успех рекультивации отвала, компания АК «АЛРОСА» приняла решение применить данный опыт к хвостохранилищу № 3. Поверх токсичных грунтов произвели отсыпку плодородных пород с внесением аммофосных удобрений, которые оказывают благоприятное воздействие на развитие растений в начальный период, повышают их устойчивость к кратковременным заморозкам.

В первые годы восстановление проходило по плану, однако содержание солей в техногрунтах оказалось слишком высоким, в связи с чем данные породы трансформировались в токсифабрикат из реплантоземов. Для хвостохранилищ характерны малая зарастаемость и недостаточное количество опада, благотворно влияющего на увеличение биогенности. Основным способом решения данной проблемы является изолирование/консервирование подверженного загрязнению техногрунта материалом, препятствующим капиллярной транспортиции влаги и содержащихся в ней солей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выделено три направления рекультивации почв, подвергшихся засолению: повышение солеустойчивости растений, подбор стрессоустойчивых растений (галофитов) и увеличение биогенности техногрунтов.

Повышение солеустойчивости растений в большей степени основано на изучении генов галофитов, задействованных в способности растений произрастать на засоленных почвах, и исследовании почвенных бактерий некоторых видов растений, повышающих устойчивость растений к засолению. Можно сделать вывод о том, что исследователями предпринимаются попытки в первую очередь адаптироваться к сложившейся ситуации, а не пытаться улучшить химический и микробиологический состав почв.

Подбор стрессоустойчивых растений (галофитов) так же, как и повышение солеустойчивости, направлен на выявление и создание видов растений, способных адаптироваться к засолению почвы. Стоит отметить, что данный метод требует меньше затрат, так как подразумевает посадку растений на деградированном участке и их последующий мониторинг.

Повышение биогенности техногрунтов – комплексное и наиболее сложное направление из всех представленных. Связано это с тем, что данные методы рекультивации используются как для снижения количества солей в почве с

целью ее обратного введения в сельскохозяйственный оборот, так и просто для восстановления первичных почвенных показателей (химических). Исследователями рассматриваются различные способы повышения биогенности: применение удобрений на основе фосфора как мелиорант-коагулянта, торфа вместе с доломитовой мукой и т.д.

Таким образом, в связи с ростом количества засоленных земель вопрос их рекультивации стоит весьма остро. Экстракция вод и вскрышных пород, в профиле которых присутствуют соли, на поверхность с формированием отвалов и хвостохранилищ агрессивно воздействует на верхние горизонты почв, снижая их плодородие.

Засоление способствует процессам образования термокарста, термоэрозии и солифлюкции, за счет чего углубляется уровень вечной мерзлоты, а верхние горизонты переходят из мерзлого (твердого) состояния в пластично-мерзлое и немерзлое. Без проведения рекультивации на территориях Крайнего Севера углубление вечной мерзлоты приведет к разрушению сложившейся природной среды.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRW-2024-0005).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Панкова Е.И. Засоленные почвы России: решенные и нерешенные проблемы // *Почвоведение*. 2015. № 2. С. 131–144.
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
3. Phillips J.D. Soil Complexity and Pedogenesis // *Soil Science*. 2017. V. 182. № 4. P. 117–127.
4. Атаева Г.И., Атаева З.А. Современные методы борьбы с засолением сельскохозяйственных земель // *Вестник науки и образования*. 2022. № 2 (122). Ч. 2. С. 66–68.
5. Панкова Е.И., Герасимова М.И., Королюк Т.В. Засоленные почвы в отечественной и международной классификации почв // *Почвоведение*. 2018. № 11. С. 1309–1321.
6. Kozlovskiy E.Y., Zhuravkov M.A. Determination and verification of the calculated model parameters of salt rocks taking into account softening and plastic flow // *Journal of Mining Institute*. 2021. V. 247. P. 1–7.
7. Панкова Е.И., Горохова И.Н. Анализ данных о площади засоленных почв в России в конце XX и начале XXI веков // *Бюллетень Почвенного института им. В. Докучаева*. 2020. № 103. С. 5–33.
8. Малышкин М.М. Рекультивация шламовых амбаров путем посадки растений // *Записки Горного института*. 2007. Т. 170. С. 119–120.
9. Zamora Re M., Tomasek A., Hopkins B.G., Sullivan D., Brewer L. Managing Salt-affected Soils for Crop Production // *Pacific Northwest extension publishing*. Technical Report April, 2022. 24 p.
10. Иванищев В.В. О механизмах солеустойчивости растений и специфических эффектах засоления // *Труды Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2019. Вып. 4. С. 74–88.

11. Bannari A., El-Battay A., Hameid N., Tashtoush F. Salt-Affected Soil Mapping in an Arid Environment Using Semi-Empirical Model and Landsat-OLI Data // *Advances in Remote Sensing*. 2017. V. 6. № 4. P. 260–291.
12. Metternicht G., Azinck J. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints // *Remote Sensing of Environment*. 2003. V. 85. № 1. P. 1–20.
13. Tóth T., Pastor L., Kabosz S., Kuti L. Saline soils of Hungary: distribution prediction based on hydrogeological maps // *Ecology and geography of soils* / Ed. P.V. Krasilnikov. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of RAS, 2009. P. 116–157.
14. Тихановский А.Н. Проблемы и методы биологической рекультивации техногенно нарушенных земель Крайнего Севера // *Успехи современного естествознания*. 2017. № 2. С. 43–47.
15. Torabi M. Physiological and biochemical responses of plants to salt stress // *The 1st International Conference on New Ideas in Agriculture*. 2014. P. 26–27.
16. Азарова С.В., Усманова Т.В., Межибор А.М. Экологические проблемы мест захоронения отходов горнодобывающей промышленности в России // *Обзоры по загрязнению окружающей среды и токсикологии*. 2019. Т. 247. С. 59–84.
17. White K.D. Nature and Economy in the Aral Sea Basin. // *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. / Eds. Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. Heidelberg: Springer, 2014. Chapter 12. P. 301–335.
18. Petrova T.A., Rudzisha E., Alekseenko A.V., Bech J., Pashkevich M.A. Rehabilitation of Disturbed Lands with Industrial Wastewater Sludge // *Minerals*. 2022. V. 12. № 3. 19 p.
19. Hulisz P., Pindral S., Kobierski M., Charzyński P. Technogenic Layers in Organic Soils as a Result of the Impact of the Soda Industry // *Eurasian Soil Science*. 2018. V. 51. № 10. P. 1133–1141.
20. Kashnikov Yu.A., Ermashov A.O., Efimov A.A. Geological and Geomechanical Model of the Verkhnekamsk Potash Deposit Site // *Journal of Mining Institute*. 2019. № 237. P. 259–267.
21. Легостаева Я.Б., Шадринова О.В. Миграция солей в почвенном профиле и технопочвах в зоне влияния алмазодобывающих предприятий Якутии // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Якутск: СВФУ, 2020. С. 478–481.
22. Шадринова О.В. К вопросу засоления почв на территории алмазодобычи (Западная Якутия) // *Почва как связующее звено в функционировании природных и антропогенно-трансформированных экосистем: Материалы V Международной научно-практической конференции*. Иркутск: ИГУ, 2021. С. 564–567.
23. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Гладков А.С., Трифионов Н.С., Серебряков Е.В. Рассолы из глубоких горизонтов трубки Удачная // *Геодинамика и тектонофизика*. 2018. Т. 9. № 4. С. 1235–1253.
24. Serebryakov E.V., Gladkov A.S. Geological and structural characteristics of deep-level rock mass of the Udachnaya pipe deposit // *Journal of Mining Institute*. 2021. № 250. P. 512–525.
25. Данилов П.П., Саввинов Г.Н. Сравнительная характеристика техногенных трансформаций почв и почвенного покрова Вилюйского и Приленского плато при добыче алмазов // *Проблемы региональной экологии*. 2018. № 5. С. 134–137.

26. Афанасиади К.И., Смирнов Ю.Д. Технология защиты нанесенного плодородного слоя от минерализованных вод хвостохранилища АК «Алроса» при рекультивации // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина*. Томск: ТПУ, 2017. Т. 1. С. 698.
27. Афанасиади К.И. Оценка эффективности рекультивации хвостохранилища Мирнинского горно-обогатительного комбината // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина*. Томск: ТПУ, 2017. Т. 1. С. 696–697.
28. Шац М.М. Экологическая и геохронологическая специфика в недропользовании в Северной Сибири // *Жизнь Земли*. 2020. Т. 42. № 1. С. 24–37.
29. Петрова Т.А., Епишина А.Д. Эколого-экономические последствия аварий на калийных предприятиях // *Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений*. 2024. № 4 (71). С. 37–40.
30. Лапинская В.О. Пути снижения засоления земель в районах разработки калийных месторождений. URL: [http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2014/eko/SE\\_2014/pages/Articles/Lapinskaya](http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2014/eko/SE_2014/pages/Articles/Lapinskaya) (дата обращения: 01.03.2023).
31. Петрова Т.А., Рудзиш Э.Р. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с использованием осадков сточных вод в качестве мелиорантов // *Записки Горного института*. 2021. Т. 251. С. 767–776.
32. Alekseenko V.A., Shvydkaya N.V., Alekseenko A.V. [et al]. Element accumulation patterns of native plant species under the natural geochemical stress // *Plants*. 2020. V. 10. № 1. URL: [https://www.researchgate.net/publication/347981126\\_Element\\_Accumulation\\_Patterns\\_of\\_Native\\_Plant\\_Species\\_under\\_the\\_Natural\\_Geochemical\\_Stress](https://www.researchgate.net/publication/347981126_Element_Accumulation_Patterns_of_Native_Plant_Species_under_the_Natural_Geochemical_Stress) (дата обращения: 25.02.2025).
33. Носова М.В., Середина В.П. Инновационный подход к рекультивации техногенно-засоленных почв Западной Сибири // *Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции*. Киров: ВятГУ, 2020. С. 308–312.
34. Пашкевич М.А., Петрова Т.А., Рудзиш Э. Оценка возможности использования лигнинового шлама для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель // *Записки Горного института*. 2019. Т. 235. С. 106–112.
35. Palyanitsina A., Safiullina E., Vyazrov R., Podoprighora D., Alekseenko A. Environmentally Safe Technology to Increase Efficiency of High-Viscosity Oil Production for the Objects with Advanced Water Cut // *Energies*. 2022. V. 15. № 3. P. 753.
36. Опекунова М.Г., Опекунов А., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю. Оценка трансформации природной среды в районах освоения углеводородов на севере Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2018. № 25 (1). С. 122–138.
37. Иванищев В.В. Новые направления исследований в повышении солеустойчивости растений // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2021. № 2. С. 47–55.
38. Song J., Wang B. Using euhalophytes to understand salt tolerance and to develop saline agriculture: Suaeda salsa as a promising model // *Annals of Botany*. 2015. V. 115. № 3. P. 541–553.
39. Семененко С.Ю., Морозова Н.В. Изменение содержания солей в почве при ее рекультивации методом ферментативной биостимуляции // *Аграрный научный журнал*. 2018. № 1. С. 35–38.

40. Симонова Е.О., Субботин А.М., Петров С.А. Повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды под влиянием бактерий из многолетнемерзлых пород // *Материалы II Международного симпозиума «Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений» и Международной научной школы «Роль активных форм кислорода в жизни растений»* / ред. И.В. Максимов и др. Уфа: ООО «Первая типография», 2017. С. 413–416.

41. Богатырева Н.Н., Потапова И.А., Сырчина Н.В. Мелиорант на основе хвостов обогащения фосфоритов для восстановления плодородия содово-солонцовых почв // *Экология родного края: проблемы и решения: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров: ВятГУ, 2021. Кн. 1. С. 441–444.

42. Сырчина Н.В., Ашихмина Т.Ю., Богатырева Н.Н., Кантор Г.Я. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 2. С. 117–122.

43. Ямалиев Т.Ш., Бочарова А.А. Технологии биологической рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера // *Инновационное развитие агропромышленного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Сборник материалов Международной научно-практической конференции*. Часть 2. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2020. С. 592–597.

44. Никифоров А.А., Миронова С.И., Иванов В.В. О необходимости биологической мелиорации в условиях Севера // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 119–123.

45. Пашкевич М.А., Левчук И.Р. Разработка экологически безопасных способов хранения и захоронения минеральных отходов горно-металлургического производства // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011. № 11. С. 138–140.

**Для цитирования:** Данилов А.С., Кремчеев Э.А. Техногенное засоление почв на Крайнем Севере: обзор проблем и потенциальных решений // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия «Технические науки». 2025. № 3 (27). С. 80–93.

## **TECHNOGENIC SOIL SALINIZATION IN THE FAR NORTH: A REVIEW ON CHALLENGES AND POTENTIAL SOLUTIONS**

A.S. DANILOV<sup>1</sup>, Cand. Sc., E.A. KREMCHEEV<sup>2</sup>, Dr. Sc.

<sup>1</sup>Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,  
2, 21 liniya V.O., St. Petersburg, 199106, e-mail: Danilov\_AS@pers.spmi.ru

<sup>2</sup>National research university "High school of economics",  
16, Soyuza Pechatnikov st., St. Petersburg, 190121, e-mail: kremcheev@mail.ru

Salinization is considered as a major factor that have negatively affected over 1 billion hectares of soils among the world and persist with a growth rate of 1.5 million hectares per year. The problem of salinity is primarily associated with agricultural land in arid zones, however, mining enterpris-es also increase the amount of saline soils by extracting brines and overburden to the surface. Salinization processes in the Arctic regions

of Russia are more acute, since salts contribute to the development of thermokarst, thermal erosion and solilux processes, due to which the level of permafrost deepens and chemozems are formed near industrial sites. Scientists are considering various methods of recultivation of saline soils, which can be divided into three areas: increasing the salt tolerance of plants, selecting stress-resistant plants (halophytes) and increasing the bio-genicity of techno-soils. However, in the Arctic regions with harsh climatic conditions and low biological productivity, restoration methods require careful selection, especially on disturbed soils in the mining industry. In this connection the purpose of this review article is to use available sources and published literature on soil salinisation in general, and particularly in the Far North, to highlight available methods for reclamation of areas affected by salinisation in mining.

*Keywords:* soil degradation, salinization, secondary salinization, Far North, salt tolerance, halophytes, biogenicity.

Поступила в редакцию/received: 21.04.2025; после рецензирования/ revised: 27.04.2025; принята/accepted: 30.04.2025

УДК 622.73

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРЕГАТА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД, ОБЛАДАЮЩИХ ПЛАСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

И.В. ГОРЛОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, П.Е. МИТУСОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Тверской государственной технической университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gorloviv@yandex.ru

<sup>2</sup>Московский научно-исследовательский проектно-изыскательский институт  
технологий и инноваций, 117105, Москва, Нагатинский 1-й пр., 4

© Горлов И.В., Митусов П.Е., 2025

Статья содержит анализ типовых агрегатов для классификации и измельчения материалов. Предложен комплексный агрегат нового типа, который может использоваться для переработки слабых горных пород, обладающих выраженными пластическими свойствами, и позволит осуществлять в рамках единого цикла как измельчение, так и классификацию исследуемых материалов, исключая дополнительную транспортировку и промежуточное хранение продукта переработки. Описан принцип действия агрегата, также представлены некоторые элементы инженерных расчетов для определения наиболее важных технологических параметров при переработке указанных горных пород. Приведены результаты оценки эффективности процесса при использовании измельчителя-классификатора.

*Ключевые слова:* измельчение, классификация горных пород, энергетический метод, сдвиговые напряжения, вал-измельчитель, перфорированный барабан, эффективность.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2025-3-93-102**