

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435

УДК 631.618 (292.471)



Научная статья | Сельскохозяйственная мелиорация

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРНО-ОТВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ КРЫМА

*В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, И.Б. Просяникова*

*Приведены результаты изучения временных этапов первичного сингенеза при сравнительной оценке интенсивности демулационных процессов растительности и формирования почвенного покрова на отработанных карьерно-отвальных комплексах в степном и предгорном Крыму, что выполнено впервые для данного региона.*

**Материалы и методы.** *Исследования проведены на двух карьерах. Первый расположен в степной части полуострова. На нем велась добыча известняка, карьер находится вблизи г. Евпатория. Второй карьер размещен в предгорной зоне вблизи г. Бахчисарай. Изучение растительного покрова проводилось геоботаническими методиками. Был выявлен флористический состав растений, устойчивых к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров, структура их сложения и продуктивность соответствующих сообществ. При оценке физических показателей подстилающих пород и формирующихся почв учитывались: агрегатный и микроагрегатный состав почвогрунтов, порозность и скважность их структуры по объемному и удельному весам твердой фазы. При химических исследованиях почвогрунтов определялись следующие показатели: содержание гумуса, состав обменных катионов, активная кислотность водной вытяжки, общая щелочность, ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ .*

**Результаты.** *Установлены региональные особенности состава растительности и почвообразовательных процессов. Выявлено, что в равнинной части полуострова процесс формирования регенерационных биогеоценозов идет быстрее, чем в предгорьях. Процессы сингенеза почв и растительности на отвалах при биологической рекультивации сильно растянуты по временной шкале и еще очень далеки от природных экосистем даже после 35-40-летнего периода.*

**Выводы.** Ориентироваться на оптимизацию данных территорий только через биологическую рекультивацию проблематично. Необходимо планировать проведение горно-технической рекультивации для возвращения этих территорий в хозяйственное использование.

**Ключевые слова:** карьеры; отвалы вскрышных пород; строительные материалы; растительность; демулационные смены; почвообразование; Крым

**Для цитирования.** Кобечинская В.Г, Ярош О.Б, Просьянникова И.Б. Экологический мониторинг процессов рекультивации карьерно-отвальных комплексов Крыма // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №3. С. 409-435. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435

Original article | Agricultural Melioration

## ECOLOGICAL MONITORING OF THE RECLAMATION PROCESSES OF THE QUARRY COMPLEXES OF CRIMEA

*V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, I.B. Prosyannikova*

*The aim of the work was to study the temporal stages of primary syngensis in a comparative assessment of the intensity of vegetation demutational processes and soil cover formation on the waste quarry-dump complexes in the steppe and foothill Crimea.*

**Methods and materials.** *The studies were conducted in two quarries. The first one is located in the steppe part of the peninsula. It was producing limestone, the quarry is located near the city of Evpatoria. The second quarry is located in the foothill zone near Bakhchisaray. The study of the vegetation was conducted by geobotanical methods. The floristic composition, structure of composition and productivity of the corresponding communities were identified. When assessing the physical indicators of the underlying rocks and emerging soils were taken into account: the aggregate and microaggregate composition of soils, porosity and well of their structure by volume and specific weight of the solid phase. At chemical researches of soils the following parameters were defined: the maintenance of humus, composition of exchangeable cations, active acidity of aqueous extract, general alkalinity, ions  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ .*

**Results.** *Regional features of vegetation composition and soil-forming processes have been established. The process of regenerating biogeocenoses in the plain part*

*of the peninsula was found to proceed faster than in the foothills. The processes of soil and vegetation syngeneses at the dumps during the biological recultivation are strongly stretched on the time scale and are still very far from the natural ecosystems even after 35-40 years.*

**Conclusions.** *Focusing on optimizing these areas through biological reclamation alone is problematic. It is necessary to plan mining-technical reclamation to return these territories to economic use.*

**Keywords:** *quarries; overburden rock dumps; construction materials; vegetation; demutational shifts; soil formation; Crimea*

**For citation.** *Kobechinskaya V.G, Yarosh O.B, Prosyannikova I.B. Ecological Monitoring of the Reclamation Processes of the Quarry Complexes of Crime. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 409-435. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-3-409-435*

## **Введение**

На Крымском полуострове ведущими минеральными ресурсами являются строительные материалы. Это камень: строительный, облицовочный и пильный, сырье цементное, мергель, гипс и ангидрит, песок, керамзитовое и стекольное сырье и др. В эксплуатации было 196 месторождений, но из-за снижения нужд и уменьшения объемов строительства в постсоветский период, большая часть из них были выведены из эксплуатации [14].

Вскрышными работами на карьерах было нарушено 3775,4 га земель, площадь отработанной территории – 1461,6 га, к сожалению, горнотехническая рекультивация была суммарно проведена всего на площади 121,6 га, а после 2000 г эти работы вообще не финансировались [4]. Складирование в течение длительного времени плодородного слоя почвы в отвалах привело к ухудшению его физико-химических и биологических свойств, что сделало неэффективным его последующее использование.

В последние годы в Республике Крым значительно расширилась номенклатура строительной продукции: мелкие бетонные блоки, стеновые блоки из природного камня, гранитные плиты, керамзит, гравий и т.д. Сырьевая база региона позволяет наращивать мощности по производству цемента, стеновых материалов, железобетонных конструкций и изделий, щебня, песка и пр. После 2014 г работы по геологическому изучению территории и контролю окружающей среды стало осуществлять Министерство экологии и природных ресурсов Республики Крым. При инвентаризации имеющейся геологической информации и документации было выявлено, что часть эксплуатируемых месторождений по добыче полез-

ных ископаемых были заброшены или эксплуатировались без соответствующих разрешений и лицензий.

В рамках государственной программы Республики Крым «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Республики Крым на 2018-2020 годы», утвержденной постановлением Совета министров Республики Крым от 22 ноября 2017 года № 619, Министерством экологии и природных ресурсов РК была выполнена инвентаризация «брошенных» карьеров, проведено геологическое изучение с целью оценки земель, нарушенных при проведении работ, связанных с эксплуатацией месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ) на полуострове [4,13]. В результате, было выявлено дополнительно к учтенным карьерам ещё 152 участка нарушенных земель, общей площадью – 2896,4 га в 13 административных районах РК. Наибольшие площади «брошенных» карьеров: в Первомайском районе (41 шт. и общая площадь – 1145 га), соответственно в Сакском (20 шт. – 520,9 га) и Черноморском (30 шт. – 408,8 га). Многие выработки используются под складирование твёрдых бытовых и промышленных отходов по всей площади или её части. Учитывая распределение земель на территории Республики Крым по видам использования, нарушенные земли в сумме составляют – 5,1 тыс. га (0,2% от общей площади) [14, 3].

Взаимосвязи между основными компонентами – почвой и биотой на начальных стадиях образования отвальных ландшафтов разрушены, здесь отсутствует семенной банк, характерный для любого почвенного покрова природных сообществ. Поэтому временные этапы восстановления данных компонентов, отражающие характерные черты воссоздания биогеоценотического покрова техногенных ландшафтов с учетом территориальных особенностей представляют научный интерес. В связи с этими данными актуальным являются вопросы оценки активности биологической рекультивации разновозрастных эксплуатируемых отвалов и «брошенных» карьеров на территории полуострова, с учетом того, что горнотехническая рекультивация на них не проводилась.

Для изучения этих процессов в качестве модельных объектов были взяты два крупнейших месторождения МТПИ Крыма, расположенных в предгорной и степной части полуострова.

*Целью работы* является исследование первичного сингенеза при проведении сравнительной оценки интенсивности демулационных процессов растительности и формированию почвенного покрова на отработанных карьерно-отвальных комплексах с учетом различий добываемых строительных материалов и почвенно-климатических характеристик данных

территорий, что выполнено впервые для данного региона. Для достижения этой цели в работе решались следующие *задачи*:

А) выявить направленность почвообразовательных процессов на различных субстратах карьерно – отвальных комплексов в данных климатических зонах полуострова;

Б) установить связи между темпами формирования растительного покрова и меняющимися характеристиками почвогрунтов, а также интенсивность влияния растений на подстилающие породы с учетом многообразия эдафических условий на карьерах, что крайне актуально;

В) провести анализ флористического состава видов, заселяющих разновозрастные отвалы, с учетом их биоморфологического спектра, так как наличие большого количества техногенных форм мезорельефа на карьерах благоприятствует диверсификации биоразнообразия и многообразию процессов формирования почв;

Г) выявить структуру сложения и продуктивность растительных сообществ во временной динамике и установить направленность сукцессионных серий при демутации растительности и почвообразовательного процесса, а также влияние абиотических факторов среды на активность этих процессов, что выполнено впервые для данной территории.

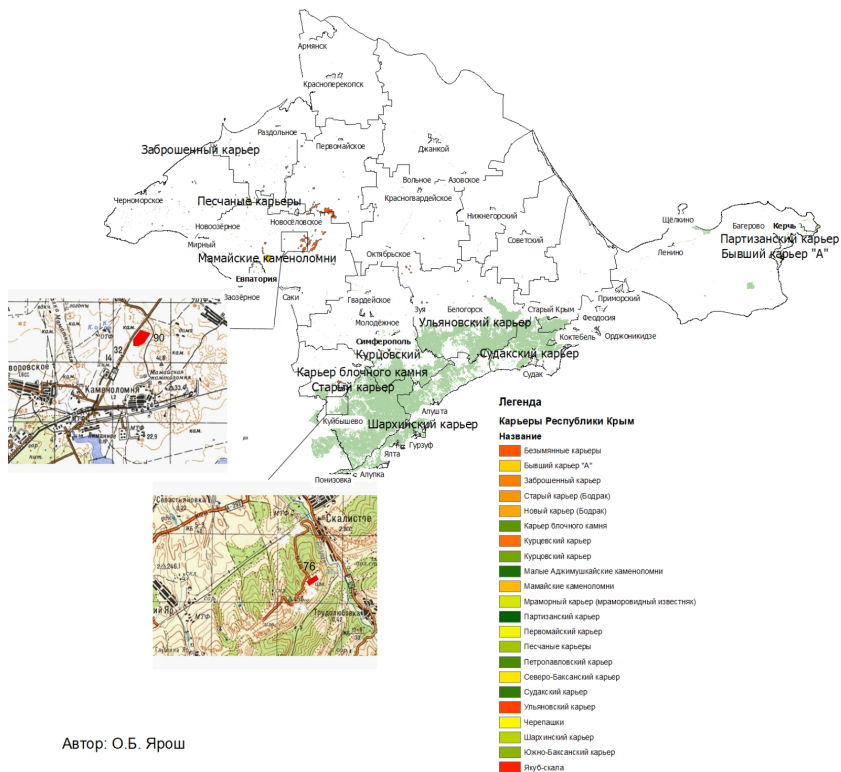
Существует ряд работ отечественных [11, 2, 1, 8, 17] и зарубежных [18, 16, 9] исследователей, посвящённых оценке интенсивности формирования почво-растительного покрова при биологической рекультивации формирующихся регенерационных биогеоценозов на карьерно-отвальных комплексах строительных материалов различных регионов страны и мира, как их наиболее информативных блоков. Особенно актуальны исследования, позволяющие раскрыть механизмы сукцессии с целью увеличения прогнозируемости развития сообществ в процессе биологической рекультивации [2, 8, 16 и др.].

Выявлен ряд последовательных, четко выделяемых стадий формирования растительного покрова: пионерной, простой, сложной группировок и открытого фитоценоза, что отмечено многими исследователями [8, 11, 16, 17]. Биогенно-аккумулятивные процессы обеспечивают инициацию регенерационного почвообразования в посттехногенных экосистемах карьерно-отвальных комплексов. При этом степень сложности организации почвенного профиля тесно связана с уровнем развития растительного сообщества [1, 5, 9, 18, 19]. Каждой стадии экогенетической сукцессии соответствует определенная стадия почвообразования, что не характерно для природных экосистем. В литературе также значительное внимание уделено особенностям гумусообразования под различными видами растений [9, 15, 16, 19, 22, 21]

на карьерах, но в меньшей степени изучены механизмы формирования адаптационного потенциала растительных организмов к этим экстремальным условиям среды. В существующих работах, чаще всего, сукцессии растительного покрова и процессы педогенеза рассматриваются отдельно друг от друга. Поэтому комплексные исследования восстановления почвенно-растительного покрова на карьерах по-прежнему актуальны.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились на двух карьерах, расположенных в степной и предгорной зонах полуострова (Рисунок 1).



**Рис. 1.** Местоположение исследовательских площадей объект №1 – расположен в 1,6 км северней от с. Каменоломня, Мамайские каменоломни, Сакского района; объект №2 – Старый карьер (Бодрак) вблизи с. Скалистое, Бахчисарайского района

Первый объект – представляет собой отсыпь разновременных отвалов разрабатываемого карьера и находится вблизи Мамайских каменоломен. Это крупнейшее месторождение мезотического известняка-ракушечника является одним из старейших по освоению в степной части на полуострове.

Добыча в этом районе велась подземной проходкой еще с конца 19 века. Отвалы вскрышных пород размещаются в 1,6 км севернее с. Каменоломня Сакского района, общей площадью 385,7 га. По всей территории данного участка есть выходы на дневную поверхность пильных известняков. Залегание его пластообразное, пологое с углом падения пластов  $1-3^\circ$  и реже  $4-5^\circ$ . Мощность пластов от 0,8 до 3,0 м, вскрышных пород – 1,4 м и выше. Этот известняк – осадочная, неоднородная горная порода, состоящая из раковин или их обломков различной величины, сцементированная известковым или глиноизвестковым мелкозернистым кальцитом. Текстура крупнопористая, цвет – от светло-желтого до бурого. Подстилающая порода – глины средне-раннесарматского возраста (мощностью 50-160 м). Средняя плотность этого известняка-ракушечника –  $0,97-1,29$  г/см<sup>3</sup>. Из всех их видов на территории полуострова он имеет самые высокие показатели пористости –  $30,2-66,9\%$  и водопоглощения –  $7,4-33,3\%$ , но достаточно высокий коэффициент морозостойкости –  $0,56-0,96$ , таким образом он выдерживает 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые не разрушают его структуру. Этот камень хорошо пилится и обрабатывается, поэтому широко применяется в строительстве как стеновой материал, особенно в частном секторе.

Второй объект – это Старый (Бодрак) отработанный в верхней части средней гряды Крымских гор карьер мшанковых известняков (104,4 га), который расположен в предгорной части Крыма вблизи села Скалистого Бахчисарайского района, высота – 450-470 м н.у.м. Для этой горной породы характерна более высокая средняя плотность –  $1,62-2,08$  г/см<sup>3</sup> существенно ниже: пористость –  $28,5-35,5\%$  и водопоглощение –  $9,1-15\%$ , коэффициент морозостойкости –  $0,7-0,99$  близок мезотическому известняку-ракушечнику степной зоны. Добычу в нижней части карьера ведет Альминский ЗСМ. Способ разработки открытый, низкоуступный и одновременно многоуступный камнерезными машинами. Мощность пластов от 5 до 60 м и выше, но они неоднородны как по физико-механическим свойствам, так и по химическому составу. На всей территории видны выходы скальных массивов известняков [14].

Климат районов исследования – умеренно-континентальный, но отличается в зонах размещения карьеров. По физико-географическому районированию Крыма разновозрастные отвалы вблизи Мамайских каменоломен

расположены в степной зоне с годовым количеством осадков около 400 мм, в предгорной (лесостепной) зоне, где находится Старый (Бодрак) карьер, выпадает больше осадков – 554 мм осадков в год (преимущественно в осенне-зимний период – 302 мм). Радиационный индекс сухости – 2,1, среднегодовая температура + 10,3 °С. Летом степная зона отличается засухами и сушевыми (18-20 дней). Средняя температура июля выше, чем в предгорьях на 3,3°С и достигает 24,4 °С с частыми максимумами в этот период более 30-35 °С. Континентальность и засушливость климата степного Крыма усиливается за счет повышенного ветрового режима. Величина испаряемости влаги почти в два раза превышает количество выпавших осадков [12].

Исследования растительного покрова проводились стандартными геоботаническими методиками [10] с выявлением полного флористического состава растений, устойчивых к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров. Были привлечены следующие адаптационные признаки: состав основных биоморф и их соотношение с учетом распределения растений по разновозрастным отвалам, структура корневой системы и глубина проникновения её в почву, которые выступают чувкими индикаторами экотопической изменчивости регенерационных биогеоценозов. Также велся учет: общего проективного покрытия, видовой насыщенности на учетных площадках 0,1 м<sup>2</sup> и 0,25 м<sup>2</sup> в 25-кратной повторности для оценки площадей задернения, ярусности сложения, высоты травостоя с выявлением доминантов и эдификаторов. Это позволило установить демулационные смены [2, 11; 17] растительности и сформировавшиеся здесь различные по флористическому составу регенерационные биогеоценозы.

Продуктивность растительных сообществ является отражением происходящих в экосистемах процессов, так как она самым тесным образом связана со всеми её внутренними и внешними факторами. Поэтому запасы надземной органической массы (живой и мертвой) наиболее полно отражают величину продуцируемого органического вещества растительностью. В период максимального развития травостоя на заложенных участках были проведены укосным методом сбор фитомассы и подстилки на площадках 0,25 м<sup>2</sup> в 10-ти кратной повторности. С последующим высушиванием материала и камеральной его обработкой с разбором укосов на хозяйственно-ботанические группы, их взвешиванием [10]. Все полученные результаты обрабатывались методами вариационной статистики. Ошибка средней величины для данных надземной массы составила ± 7- 10%. Номенклатура таксонов растений Крыма дана по данным А.В. Ены [7].

Также проводились сборы материалов по изменчивости физико-химических характеристик подстилающих пород изученных участков. Образ-



цы почвогрунта отбирались на каждом участке из следующих слоев: 0-20 и 20-30 см. Отбор и подготовку к анализам этих образцов осуществляли по общепринятым методикам в лаборатории [3]. По физическим показателям учитывались: агрегатный и микроагрегатный состав почвогрунтов, порозность и скважность их структуры по объемному и удельному весам твердой фазы, что позволило оценить соотношение в них минеральных и органических веществ, а также водно-воздушный режим. При химических исследованиях почвогрунтов определялись следующие показатели: гумус по методу Тюрина, состав обменных катионов, кислотность. Определение активной кислотности (рН) водной вытяжки производилось по методу Н.И. Алямовского. Определение общей щелочности оценивалось по  $\text{HCO}_3^-$  в мг/экв, ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  с помощью трилона Б. Перечисленные анализы дают возможность установить интенсивность почвообразовательного процесса на отвалах. Все показатели структурных элементов рассчитаны с оценкой достоверности на  $P \leq 0,95$  уровне значимости.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В равнинном Крыму отвалы сложены из смеси глинистых отложений и мелкораздробленных частичек известняка-ракушечника, а также и более крупных обломков, в предгорьях – из мелкораздробленных обломков известняка, известковой тырсы и мергелистых глин.

По маркшейдерским данным было установлено время разработок отдельных участков и выбраны примерно одновозрастные отвалы. Техническими формы аккумуляции отвалов – платообразные (старые) до 8-10 м высотой и гребневидные конусовидные отвалы до 10-15 м в предгорной зоне и до 10-12 м – в степной зоне. Крутизна склонов отвалов от 5 до 25°.

В зоне исследований степной части полуострова почвы относятся к темно-каштановым карбонатным малогумусовым на элювии известняков, в лесостепной части развиты предгорные слабощелочные глинистые и суглинистые черноземы на элювии и делювии известняков [6].

На обоих месторождениях были заложены по 5 пробных участков площадью 100 м<sup>2</sup> на разновозрастных отвалах: 2-3-х летних, 5-8-летних, 10-15-летних, 30-35-летних и 2 контрольных участка на прилегающей ненарушенной территории. Исследования велись в течение 3 лет, климатические характеристики сезонов этих лет были близки к среднемноголетним.

По механическому составу почвы в степи являются щебенчато-глинистыми. Рыхлое сложение, большое количество хряща и щебня известняков, высокая порозность почв обуславливают целый ряд их физико-химиче-

ских свойств: большая воздухоемкость, быстрота впитывания влаги, высокая теплопроводность и фильтрационная способность, что ведет к резкому уменьшению влагоемкости верхнего горизонта и создают крайне жесткие условия для жизнедеятельности растительного покрова. Полная влагоемкость верхнего горизонта А достигает 60-75%, общая порозность 58-60%, скорость впитывания – 10 мм/мин. Анализ климатических показателей позволяет считать, что в условиях прохладной, затяжной и сухой весны, засушливого лета, длинной теплой осени и короткой мягкой с частыми оттепелями зимы деятельность почвенных микроорганизмов не прекращается в течение года, лишь ослабляясь в прохладное время, т.е. растительный опад активно минерализуется, поэтому почвообразовательные процессы на отвалах идут круглогодично.

Специфика почвенного покрова техногенных ландшафтов определяется кроме естественных факторов почвообразования еще и особенностями техногенеза, поскольку последний формирует строение поверхности ландшафта, особенности распределения и состава его пород. Поверхность техногенных ландшафтов представлена в основном склоновыми формами, на которых интенсивно развиваются дефляционные, водно-эрозионные, оползневые и другие процессы, препятствующие развитию почвенных профилей. На первых этапах происходит абиогенная трансформация субстрата, она заключается в перемещении и сортировке различных по гранулометрическому строению материалов. Идет перемещение мелкозема вниз по профилю, просадка грунта, образования понижений, т.е. происходит формирование внутреннего мезорельефа отвалов карьера. Следовательно, эти факторы тормозят скорость почвообразования, удерживают эти процессы на стадии эмбриоземов [5, 9, 18].

Следует отметить, что карьерно-отвальные комплексы с учетом различных объектов добычи сырья могут служить также моделями изучения инициального педогенеза на различных стадиях формирования экосистем. Преимуществом здесь является то, что исследователю известен возраст участка, поэтому полученные результаты можно использовать и в моделировании процессов почвообразования. Сравнительный анализ формирующихся почв (табл. 1) на отвалах двух карьеров позволил выявить, что между процессом образованием гумуса и возрастом пробных участков нет прямо пропорциональной зависимости. Скорость регенерационного почвообразования определяется в первую очередь стадией сукцессии растительности и абиотическими факторами среды, причем интенсивность начального почвообразования быстро снижается после первого десяти-

летия (отвалы возрастом 10-15 лет) на сравниваемых объектах, но из-за более высокого водообеспечения в предгорной зоне в течение года основные физико-химические показатели формирующихся грунтозёмов более благоприятны для развития растений.

Таблица 1.

**Некоторые физико-химические показатели формирующихся грунтозёмов на разновозрастных отвалах и контрольных участках карьеров в степном и предгорном Крыму**

№	Возраст участков для взятия проб	Гумус, %	pH	Полевая влажность, %	Общая щёлочность $\text{HCO}_3$ мг-экв.	Азот валовый, %	$\text{P}_2\text{O}_5$ подвижный, в мг на 100 г почвы	$\text{K}_2\text{O}$ в $\text{Mg}^2$ -экв на 100г почвы
Объект № 1. (точки отбора – отвалы Мамайских каменоломен в степной зоне)								
1.	2-3 летние	0,58	7,6	7,32	0,24	0,04	0,7	6,02
2.	5-8 летние	0,87	7,5	9,65	0,31	0,05	0,79	18,4
3.	10-15 летние	0,37	7,6	8,19	0,50	0,03	0,33	19,5
4.	30-35 летние	1,20	7,7	13,08	0,58	0,02	0,94	28,4
5.	Контроль – целинная степь	2,37	7,4	15,89	0,62	1,18	3,3	32,2
Объект № 2 (точки отбора - отвалы Старого (Бодрак) карьера в предгорной зоне)								
6.	2-3 летние	0,44	7,2	14,0	0,62	0,02	0,4	4,2
7.	5-8 летние	0,56	7,2	8,0	0,68	0,06	0,9	9,4
8.	10-15 летние	0,55	7,2	15,0	0,62	0,04	0,98	14,5
9.	30-35 летние	0,98	7,3	5,0	0,64	0,07	1,57	16,3
10.	Контроль – целинная степь	3,40	7,2	9,0	0,80	0,18	1,93	17,8

Содержание гумуса на 10-15-летних отвалах карьера вблизи Мамайских каменоломен наиболее низкое (0,37%), что, видимо, связано с усилением процессов минерализации растительного покрова, т.к. среди видов «пионеров», заселяющих отвалы, наиболее обильны однолетники и монокарпики. Реакция среды – слабощелочная (pH водной вытяжки – 7,5-7,7), незначительно снижаясь на целинном участке – до 7,4. Общая щёлочность повышается по мере увеличения возраста отвальных комплексов и на 30-35-летних (0,58 мг-экв) приближается к контрольному участку. Это

приводит к повышению емкости поглощения формирующихся почв. Следует отметить очень низкие показатели валового азота на всех пробных участках, также с резким снижением на 10-15-летних отвалах (0,026%), даже старовозрастные участки еще очень далеки по этому параметру от целинной степи (1,18 %). Напротив, содержание подвижного фосфора и калия имеют тенденцию плавного роста по мере увеличения возраста отвалов, но и их показатели еще очень далеки от контрольного участка целинной степи.

На разновозрастных отвалах в предгорной зоне реакция среды на всех вариантах слабощелочная (рН - 7,2), также четко прослеживается рост общей щелочности по пробным площадям (0,62-0,68 мг-экв.), но эти показатели не так контрастны, как в степной зоне и имеют более высокие величины. Содержание гумуса в верхнем горизонте низкое (0,44-0,98%), т.е. процессы гумификации находятся также на начальных стадиях.

В зональных почвах оксиды щелочно-земельных металлов достигают 7,4 мг-экв. Отличительной чертой преобразования карбонатных пород является декарбонизация вследствие химического и физического выветривания. Процессы растворения карбонатов сильно зависят от реакции среды, на карьерах они замедлены, т.к. реакция почвенной среды рН на обоих карьерах слабо щелочная (7,2-7,4). Также для верхних горизонтов характерно большее содержание фракций мелкозема, наличие которого, в свою очередь, способствует увеличению почвенного плодородия и влагоемкости. Следовательно, на отвалах процесс выщелачивания только начался, поэтому геохимическая миграция в техногенной коре выветривания характеризуется лишь начальными этапами.

Содержание валового азота также очень низкое (0,02-0,07%). Напротив четко прослеживается увеличение содержания подвижного фосфора, который достигает на старовозрастных отвалах 1,57мг/100г почвы, та же тенденция выявлена и для обменного калия (4,2-16,3 мг.экв/100 г почвы). Также следует отметить здесь более низкую полевую влажность, что обусловлено более крутыми склонами отвалов, как и склоном контрольного участка, в результате идет потеря осадков на поверхностный сток.

В целом можно отметить, что направление почвообразовательного процесса в формирующихся молодых почвах биогеоценозов: состав гумуса, соотношение С:N и другие характеристики мало отклоняются от зонального типа. Но по всем изученным параметрам в степной и предгорной зоне эти техногенные почвогрунты еще очень далеки от ненарушенных контрольных участков и процесс этот растянут на многие десятилетия. Су-

щественное влияние оказывают экспозиция и крутизна склонов, большая неоднородность мезо- и микрорельефа, бедность субстрата элементами питания, его неблагоприятный механический состав, резкие колебания температур на поверхности отвалов, неустойчивость водного режима пород являются дополнительными препятствиями для активной биологической рекультивации этих территорий.

По географическому районированию Крыма с учетом сформировавшегося почвенного покрова зональная растительность для равнинной (степной) зоны – крымские полынно-разнотравные степи и их петрофитные варианты, преобладают житняковые формации. Для лесостепной (предгорной) свойственны дерново-злаковые богато-разнотравные степи и бородачево-бедно-разнотравные, формирующиеся на выходах плотных известняков [7].

Скорость и направление сукцессий при биологической рекультивации определяются спецификой экологических условий различных техногенных комплексов.

Анализ структуры формирующихся растительных комплексов на карьерно-отвальных ландшафтах в степной и предгорной зоне позволил выявить ряд особенностей в сукцессиях этого компонента (табл. 2).

Продолжительность стадий сингенеза определяется климатическими и эдафотопическими факторами, что выражается как в их флористическом разнообразии, так и в весовых показателях – продуктивности. Все серийные стадии самозарастания детерминированы, что обуславливает неопределенно продолжительный характер их формирования.

Особенностью пионерной группировки на 2-3 – летних отвалах обоих карьеров является высокое флористическое разнообразие (68-71 вид) (табл. 2), что отличает их от карьеров других районов страны [2, 5, 8, 15, 23 и др.].

Согласно полученным результатам, видовой состав растений каждого карьера индивидуален, а различия флористического спектра обусловлены временными границами этапов самозарастания. Основным источником поступления семян – прилегающая территория, которая значительно отличается по флористическому составу разных климатических зон полуострова. Список ведущих семейств на карьерах, как правило, повторяет данное соотношение для природной зоны, при этом часто повышена доля видов, типичных для антропогенных местообитаний, например, из семейства бобовые и астровых. Наряду с рудеральными сорняками с широкой экологической амплитудой на сорно-бурьянной стадии сразу внедряются и зональные степные виды, относящиеся к разным жизненным формам

от однолетников до полукустарничков (*Acinos eglandulosus*, *Delphinium orientale*, *Echium vulgare*, *Ajuga chia*, *Anthemis dubia*, *Coronilla varia* и др.). Наиболее обильны стержнекорневые растения (72,1%), что свидетельствует о хорошей проницаемости для воздуха и влаги существующих грунтов карьеров на первых этапах задернения склонов. Общее проективное покрытие травостоя близко по значениям (20-35%), сильно выражена комплексность, т.к. режим влагообеспеченности верхних частях отвалов и их подножья разный.

Таблица 2.

**Основные структурные показатели растительности на разновозрастных отвалах карьеров и контрольных участках в степном и предгорном Крыму**

Участок, возраст	Показатели	Кол-во видов	Общее проективное покрытие, %	Видовая насыщенность в 25-кратной повторности		Высота травостоя, см	Продуктивность г/0,25м <sup>2</sup> воздушно-сухого веса
				0,1 м <sup>2</sup>	0,25 м <sup>2</sup>		
Отвалы карьера вблизи Мамайских каменоломен в степной зоне							
2-3 летние		68	20-30	4,5±0,21	5,4±0,81	15-25	67,3±3,43
5-8-летние		100	40-60	8,7±0,97	13,9±1,6	25-30	87,9±5,67
10-15 летние:			50-70				
верхняя часть		105	40-60	10,4±0,87	16,5±1,22	20-25	109,83± 9,23
средняя часть		113	55-80	9,5±1,21	17,3±1,35	15-20	97,4±4,56
подножье		98		8,9±0,98	15,8±2,11	20-30	78,6±6,78
30-35 летние:							
верхняя часть		91	90-95	7,5±1,21	15,2±0,97	20-25	68,25±6,78
средняя часть		74	80-85	6,3±0,97	13,4±1,34	15-20	56,5± 2,36
подножье		66	80-90	8,7±0,89	16,9±2,23	20-25	67,5±5,68
Целинная степь – контроль		73	85-95	7,56±1,23	14,3±0,98	20-25	114,05±8,89
Отвалы Старого (Бодрак) карьера в предгорной зоне							
2-3 летние		71	20-35	6,4±0,24	9,1±0,47	35-45	61,35± 3,44
5-8-летние		83	60-75	7,5±0,7	16,3±0,78	20-40	40,47± 2,83
10-15 летние:							
верхняя часть		92	70-80	7,6±0,39	13,4±1,7	25-40	55,92 ± 4,21
средняя часть		106	65-80	5,8±0,21	9,7±0,78	10-30	68,32 ± 4,98
подножье		73	60-70	5,3±0,6	8,1±0,59	30-40	58,01 ± 5,01
30-35 летние:							
верхняя часть		87	50-65	9,1±1,31	13,4±1,21	15-25	80,94 ± 7,43
средняя часть		76	55-75	7,9± 0,98	11,4 ±0,99	20-35	71,64 ±5,92
подножье		69	60-75	6,6 ±1,01	10,9 ±0,87	25-35	76,69 ±5,45
Целинная степь – контроль		90	75-85	11,6±0,86	21,6±5,21	15-25	68,32±5,43

По видовой насыщенности в предгорной зоне эти показатели выше почти в полтора раза, особенно на учетных площадках 0,25м<sup>2</sup> составляет 9,1±0,47 г, как и по высоте травостоя (35-45 см), что вполне закономерно,

т.к. известковая тырса и мелкозем создают более благоприятные абиотические условия по задержанию влаги, чем мелкораздробленные частички известняка-ракушечника на отвалах месторождения в степной зоне. Сравнение интенсивности продукционного процесса на 2-3-летних отвалах (средние данные за 3 года), позволяет сделать вывод, что этот процесс в равнинном Крыму идет более активно в основном из-за большего участия однолетних видов, которые интенсивнее, чем многолетники реализуют свой биотический потенциал в течение сезона.

На отвалах 5-8-летних наблюдается стремительный рост флористического состава, причем в степной зоне он более интенсивен (100 видов) по сравнению с предгорной (83 видов), но если при анализе компонентного состава на равнине преобладают однолетники, то в предгорьях ведущей группировкой становятся поликарпические виды (53%) с более высоким проективным покрытием (60-75%). Наиболее обильны длиннокорневищные и корнеотпрысковые растения. Здесь формируются разнотравно-полынно-злаковые группировки с сомкнуто-групповой структурой размещения. Особенно выделяются заросли *Tanacetum millifolium* в сочетании с *Thymus eupatoriensis*, *Artemisia taurica* с *Poa sterilis*, в степной зоне – *Diploaxis tenuifolia* с *Artemisia lerchiana* и др. Диффузно встречаются *Aspetula vestita*, *Eryngium campestre*, *Falcaria vulgare* и др. Сообщества не замкнуты и новые виды легко внедряются в них. Эти сложные группировки обладают признаками амфиценоцитности, т.к. в них идет смешение разновозрастных популяций видов и экологических группировок.

При значительном видовом разнообразии численность особей в популяциях многих растений невысокая. Индекс видового сходства Жаккара между отвалами данного возраста и контролем в степной зоне – 35,2%, в лесостепной ниже – 30,5%, что указывает на относительное сближение экологических условий в сравниваемых сериях сукцессии.

Видовая насыщенность на учётных площадках 0,1 и 0,25 м<sup>2</sup> отвалов в степной зоне возрастает в два и более раза, тогда как в предгорьях на отвалах этого же возраста данные показатели не так контрастны. Видимо здесь усиливаются позиции многолетних видов, которые быстро занимают экологические ниши однолетников. Этот вывод подтверждают и данные по продуктивности, которая на отвалах 5-8-летнего возраста на Старом (Бодрак) карьере в предгорьях ниже в два раза, чем на равнинной территории (табл.2). Ведущими по биомассе в укосах отмечены: *Artemisia taurica*, *Euphorbia virgata*, *Koeleria cristata*, *Setaria viridis* и др. Где угол уклона отвальной поверхности более 15°, идет смыв накапливающегося

за счет ветровых потоков с полей мелкозема и на южных склонах общее проективное покрытие ниже.

Широкий диапазон биологической, экологической и позиционной неоднородности особей разного возрастного и жизненного состояния, различной реакции на среду, характера степени её использования и преобразования – основной фактор в большой амплитуде абиотических условий карьеров от благоприятных до пессимальных. По соотношению особей в укосах при оценке продукционного процесса разного возрастного и жизненного состояния можно судить не только о степени адаптации этих ценопопуляций в данных сложных группировках, но и прогнозировать пути их развития на этой территории в зависимости от изменения экологической обстановки.

К 10-15-летнему возрасту на отвалах формируются сложные полидоминантные группировки, переходящие в открытые фитоценозы. Травостой двуярусный с высоким уровнем сомкнутости. Флористическое разнообразие достигает апогея (106-113 видов), участие инвазивных популяций резко снижается на обоих карьерах, нормальные популяции растений занимают главенствующее положение в составе регенерационных биогеоценозов. Длиннокорневищные виды постепенно замещаются на короткоползучие и плотнокустовые. Для более детального анализа мы эти отвалы разделили на 3 территории: верхняя и средняя части, а также подножье, изучая все выше перечисленные параметры более дифференцированно. Было установлено, что наибольшее флористическое разнообразие отмечено в средней части на обоих карьерах, самые низкие показатели оказались у подножья отвалов. Возможно, это связано с периодическим осыпанием грунта, большим уплотнением скелетной массы, но полагаем, что все же ведущий фактор – влагообеспеченность. В составе растительности этих территорий ведущие виды – ксерофиты и ксеромезофиты, предпочитающие хорошо прогреваемые солнечные склоны. Эти выводы подтверждаются и данными по продуктивности на контрольных площадках. На 10-15-летних отвалах карьера вблизи Мамайских каменоломен продуктивность наивысшая именно в верхней части (109,8 г/0,25м<sup>2</sup>), снижаясь к подножью до 78,6 г/0,25м<sup>2</sup>, на Старом (Бодрак) карьере показатели продуктивности по склону от верхней части до низа отвала существенно меньше и достаточно близки (55,92 - 68,32 г/0,25м<sup>2</sup>). Здесь уже можно выделить преимущественно ассоциации: *Bothryochloa ischemum* – *Poa sterilis* – *Thymus callieri*, в степной зоне – *Peganum garmala* – *Artemisia austriaca* – *Poa compressa*. Субдоминантами являются: *Tanacetum millifolium*, *Festuca rupicola*, *Dianthus pseudoarmeria*, *Falcaria vul-*



*gare* и др. Следовательно, именно отвалы данного возраста характеризуются наиболее высокой экологической емкостью этих экотопов, независимо от климатической зоны.

К 30-35 годам повышается степень сомкнутости травостоя, особенно это заметно на отвалах в степной зоне, достигая 80-95% и по этому показателю приближаясь к контрольному участку. В предгорной части эти величины существенно ниже, причем выявлена значительная вариабельность общего проективного покрытия от верхней части склона отвала (50-65%) к его подножью (60-75%). Также снижается и флористическое разнообразие на обоих карьерах (табл. 2). Очевидно, это характеризует обострение конкурентной борьбы за существование, резкого уменьшения экологических ниш, что приводит к затруднению проникновения в эти биогеоценозы новых видов. Главенствуют злаки *Bothryochloa ischemum*, *Stipa capillata*, *Agropyron pectiniforme*. В укосах снижается роль: *Linum austriacum*, *Scabiosa argentrea*, родов *Bromus* и *Egilops*. Полностью выпадают из травостоя *Gypsophyla paniculata*, *Rumia crithmifolia*, *Valerianella coronate* и др. Здесь можно выделить ассоциации: *Bothryochloa ischemum* - *Stipa capillata* – *Zerna riparia* и *Poa sterilis* – *Festuca rupicola* – *Teucrium polium*. В результате к 30-35 годам происходит замена группировок предшествующих лет на фитоценозы, приближающиеся по структуре и сложению к контрольным участкам. Но в условиях техногенного субстрата наступление заключительных этапов естественной демуляции проблематично.

В сложении коренной ненарушенной целинной степи в окрестностях карьера в степной зоне можно выделить ассоциации: *Agropyron ponticum* – *Festuca rupicola* – *Teucrium chamaedrys* и *Stipa capillata* – *Medicago romatica* – *Salvia nemorosa* – *Marrubium peregrinum*, в предгорной зоне: *Stipa capillata* + *Bothryochloa ischemum* – *Elytrigia repens* и *Elytrigia repens* – *Artemisia taurica* – *Koeleria cristata* – *Cynodon dactylon*.

Коэффициент сходства Жаккара по флористическому разнообразию регенерационных биогеоценозов при сопоставлении 30-35-летних отвалов с зональным степным фитоценозом (контроль) в степной зоне равен 57,7%, в предгорной зоне соответственно 47,3%. Это указывает на то, что процессы сингенеза изученных компонентов на отвалах еще очень далеки от сообществ климаксового типа.

Следовательно, структурно-функциональная организация фитоценозов на разновозрастных карьерах развивается как совокупность взаимодействующих друг с другом различных жизненных форм растений, которые находятся под жестким контролем ограниченных ресурсов азота и других

питательных веществ почвогрунтов. Все эти группировки по мере усложнения их структуры организованы по принципу оптимизации внутривидовой и межвидовой конкуренции, воспроизводство популяций этих видов строится как циклические системы, обладающие способностью преодолевать критически низкие величины, как элементов питания, так и экстремально высокие температурные режимы в течение сезонного развития и низкий уровень влагообеспеченности. Они выживают за счет высокого уровня генеративного размножения, обеспечивающего обновление резервного фонда новых генераций и жесткой конкуренции в подземной части сообществ, поэтому закономерен процесс снижения флористического разнообразия по мере увеличения возраста отвалов. Конкуренция между видами выполняет своеобразные функции корректирующего и дополняющего механизма, стабилизирующего видовой состав растений и обеспечивает адаптационные возможности сосуществования различных биоморф как непосредственного механизма вытеснения одних видов другими и заполнения освобождающихся экологических ниш, что во многом определяет характер этих взаимоотношений и механизмы конкурентных взаимодействий между популяциями внедряющихся видов.

### **Выводы**

Полученные результаты комплексных исследований разновозрастных промышленных отвалов карьеров в степном и предгорном Крыму позволили установить ряд региональных особенностей формирования регенерационных биогеоценозов:

1. Скорость почвообразования определяется в первую очередь стадией сукцессии растительности и абиотическими факторами среды, причем его интенсивность быстро замедляется после первого десятилетия. На первых этапах происходит абиогенная трансформация субстрата, которая заключается в перемещении и сортировке различных по гранулометрическому строению материалов. Идет перемещение мелкозема вниз по профилю, просадка грунта, образования понижений, т.е. происходит формирование внутреннего мезорельефа отвалов карьера. Следовательно, эти факторы значительно тормозят скорость почвообразования.

2. Направление почвообразовательного процесса в формирующихся молодых почвах биогеоценозов: состав гумуса, соотношение C:N и другие характеристики мало отклоняются от зонального типа. Следует также отметить очень низкие показатели валового азота на всех пробных участках с резким снижением на 10-15-летних отвалах (0,026%), даже старо-

возрастные участки еще очень далеки по этому параметру от целинной степи (1,18%). Напротив, содержание подвижного фосфора и калия имеют тенденцию плавного роста по мере увеличения возраста отвалов, но и их показатели еще очень далеки от контрольных участков целинной степи. На отвалах процесс выщелачивания только начался, поэтому геохимическая миграция в техногенной коре выветривания характеризуется лишь начальными этапами. Содержание гумуса в верхнем горизонте низкое (0,44-0,98%), т.е. процессы гумификации находятся также на начальных стадиях. Поэтому между процессом образованием гумуса и возрастом пробных участков нет прямо пропорциональной зависимости.

3. Экспозиция и крутизна склонов, большая неоднородность мезо- и микрорельефа, бедность субстрата элементами питания, его неблагоприятный механический состав, резкие колебания температур на поверхности отвалов, неустойчивость водного режима пород являются дополнительными препятствиями для активной биологической рекультивации этих территорий. Поэтому по всем изученным параметрам почвообразовательного процесса в степной и предгорной зоне Крыма эти техногенные почвогрунты еще очень далеки от ненарушенных контрольных участков и процесс этот растянут на многие десятилетия.

4. Особенностью пионерной группировки на 2-3 – летних отвалах обоя карьеров является высоко флористическое разнообразие (68-71 вид), что отличает их от карьеров других районов страны.

5. Участие однолетников стремительно снижается по мере роста возраста отвалов. В степной зоне на 2-3-летних отвалах в составе растительности они составляют 32,4%, в предгорной зоне их роль еще выше, достигая 43,7%. К 30-35 годам их значимость падает на отвалах в степной зоне до 20,9%, в предгорьях до 16,7%. Соответственно усиливаются позиции поликарпических видов в эти же временные сроки в степной зоне с 44,1% до 63%, в предгорьях эти показатели почти удваиваются – с 36,6% до 61,1%.

6. На отвалах 5-8-летних наблюдается стремительный рост флористического состава, причем в степной зоне он более интенсивен (100 видов) по сравнению с предгорной (83 видов), но если при анализе компонентного состава на равнине преобладают однолетники, то в предгорьях ведущей группировкой становятся поликарпические виды с более высоким проективным покрытием (60-75%). Продуктивность на отвалах 5-8-летнего возраста в предгорьях ниже в два раза, чем на карьере, расположенном в степи. Здесь усиливаются позиции поликарпических видов, которые занимают экологические ниши однолетников.

7. К 10-15-летнему возрасту на отвалах формируются разнотравно-попынно-злаковые группировки с сомкнуто-групповой структурой размещения, переходящие в открытые фитоценозы. Травостой двуярусный. Сообщества не замкнуты, новые виды легко внедряются в них. При значительном видовом разнообразии численность особей в популяциях многих растений невысокая. Флористическое разнообразие достигает апогея (106-113 в). На отвалах карьера в степной зоне продуктивность наивысшая именно в верхней части (109,8 г/0,25м<sup>2</sup>), снижаясь к подножью до 78,6 г/0,25м<sup>2</sup>. На Старом (Бодрак) карьере показатели продуктивности по склону от верхней части до низа отвала существенно меньше и достаточно близки (55,92 - 68,32г/0,25м<sup>2</sup>). Следовательно, именно отвалы данного возраста характеризуются наиболее высокой экологической емкостью экотопов, независимо от климатической зоны.

8. К 30-35 годам повышается степень сомкнутости травостоя, особенно это заметно на отвалах в степной зоне, достигая 80-95% и по этому показателю приближаясь к контрольному участку. В предгорной части эти величины существенно ниже, причем выявлена значительная вариабельность общего проективного покрытия от верхней части склона отвала (50-65%) к его подножью (60-75%). В результате к 30-35 годам происходит замена группировок предшествующих лет на фитоценозы, приближающиеся по структуре и сложению к контрольным участкам. Эти выводы подтверждают, как открытость сформировавшихся здесь регенерационных биогеоценозов, так и значительная длительность сукцессионных процессов. Также были выявлены виды растений, устойчивые к специфическим неблагоприятным абиотическим условиям карьеров.

9. Был рассчитан индекс видového сходства Жаккара между растениями, произрастающими на разновозрастных карьерах и контрольными участками. С учетом приуроченности к климатическим зонам установлено, что в равнинной части полуострова процесс формирования регенерационных биогеоценозов идет быстрее, чем в предгорьях, их сложение и структура ближе по компонентному составу популяций контрольного участка целинной степи. Эти данные также указывают на то, что процессы сингенеза изученных компонентов на отвалах сильно растянуты по временной шкале и еще очень далеки от сообществ климаксового типа.

Полученные результаты вносят определенный вклад в развитие теории протекания первичных сукцессий на техногенно нарушенных территориях данных климатических зон Крымского полуострова. Следовательно, ориентироваться на оптимизацию карьерно-отвальных комплексов только

через биологическую рекультивацию проблематично, необходимо планировать вопросы горно-технической рекультивации для возвращения этих территорий в хозяйственное использование.

### *Список литературы*

1. Боргникова Г.А, Межова Л.А, Луговский А.М, Евдокимов М.Ю, Ткачев А.Ю, Рихардт П.В. Геоэкологическая рекультивация и санация территории карьеров по добыче строительных материалов // Проблемы региональной экологии. 2018. N 6. С. 40-45.
2. Винюсева Г. В. Экологический анализ флоры и растительности окрестностей заброшенного мелового добывающего карьера у р.п. Старая Кулатка // Самарский научный вестник. N 2 (11). Самара: ПГСГА, 2015. С. 51 – 53.
3. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.
4. Государственная программа Республики Крым «Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Республики Крым на 2018-2020 годы», утвержденной постановлением Совета министров Республики Крым от 22 ноября 2017 года N 619. [https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT\\_1.pdf](https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT_1.pdf)
5. Дмитракова Я.А, Абакумов Е.В, Першина Е.В, Иванова Е.А, Андронов Е.Г. Динамика растительного сообщества и микробиома хроносерий посттехногенных почв в известняковом карьере в условиях рекультивации // Сельскохозяйственная биология. 2018. N3 (53). С.554-569.
6. Драган Н.А. Почвы Крыма. Симферополь: ТНУ, 2009. 95 с.
7. Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова. Симферополь: Н. Орианда, 2012. 232 с.
8. Зеньков И., Вокин В., Кирюшина Е., Морин А., Миронова Ж., Кондрашов П., Федоров А., Веретеннова Т. Исследование формирования растительной экосистемы на участках нарушенных земель Айхальского горно-обогатительного комбината // Экология и промышленность России. 2020. N 24(1). С. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-46-50>
9. Иванова Л.В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. N 56. С. 491-498.
10. Ипатов В.С, Миркин Д.М. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб.: СПб Гос. Ун-т, 2008. 71 с.

11. Кобечинская В.Г, Ярош О.Б. Рекультивация на карьерно-отвалных комплексах техногенных территорий в предгорном Крыму // Экономика строительства и природопользования. 2021. N 1 (78). С 35-37.
12. Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости: Естественные науки. 2016. Вып. 36. N.18. 239 с.
13. Постановление Совета министров Республики Крым от 28.01.2020 № 22 «О проведении рекультивации и консервации земель и земельных участков на территории Республики Крым» [Официальный сайт Правительства Республики Крым] // Официальный интернет-портал правовой информации. <https://rk.gov.ru/ru/document/show/19884>
14. Федоркин С.И, Любомирский Н.В, Когай Э.А, Дудинская А.В. Сырьевая база строительных материалов Крыма и пути её расширения // Экономика строительства и природопользования. 2020. N4 (77). С. 66-71.
15. Хабирова Л.М. Самовосстановление растительного покрова карьеров по добыче строительных материалов на территории Республики Башкортостан. БГПУ, 2017. 223 с.
16. Diéguez-Aranda U. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain / Diéguez-Aranda U, Castedo-Dorado F, Álvarez-González, J. G, RodríguezSoalleiro // European Journal of Forest Research. 2005. No 124. P.143-153.
17. Ergina E.I, Ergin S.M, Sidorenko I.Ya.. Ecological and Economic Evaluation of the Disturbed Lands Recultivation Projects in the Republic of Crimea // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. No 459(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022021>
18. Kochan R, Zawislak S, Bubela T, Ruda M, Boyko, T. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes // 19th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM. 2019. No.19(6.1). P. 881–888. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.1/S25.114>
19. Likhanova I.A, Kovaleva V.A. Controlled restoration of forest ecosystems on sandy technogenic substrates in the far northern taiga of the Russian European Northeast // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. 2018. No 43. P.174–195. <https://doi.org/10.17223/19988591/43/9>
20. Likhanova I.A, Kuznetsova Y.G, Novakovskiy A.B. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic // Contemporary Problems of Ecology. 2021. No 14(7). P. 760–766. <https://doi.org/10.1134/S199542552107012X>

21. Likhanova I.A, Kuznetsova Y.G, Novakovskiy A.B. Vegetative Cover Forming in Quarries after Forest Recultivation Being Performed in Middle Taiga Subzone of the North-East of the European Russia // Russian Journal of Forest Science. 2020. No 5. P. 424–432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095>
22. Prishchepov A.V, Myachina K.V, Kamp J, Smelansky I, Dubrovskaya S, Ryakhov R, Grudin D, Yakovlev I, Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes // Land Degradation and Development. 2021. No 32(11). P. 3220-3235. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
23. Zenkov I.V., Le Hung T., Vokin V.N., Kirushina E.V., Latyntsev A.A., Kondrashov P.M., Pavlova P.L., Konov V.N., Lunev A.S., Skorniyakova S.N., Maglinets Yu.A., Raevich K.V. Technology Development for Mining-engineering Recultivation during Opencast Mining at Polymetallic Ore Deposits // Ecology and Industry of Russia. 2022. No 26(1). P. 54–59. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-1-54-59>

### References

1. Bortnikova G.A, Mezhoval L.A, Lugovskij A.M, Evdokimov M.Ju, Tkachev A.Ju, Rihardt P.V. Geojekologicheskaja rekul'tivacija i sanacija territorii kar'erov po dobyche stroitel'nyh materialov [Geoecological reclamation and sanitation of quarries for construction materials]. *Problemy regional'noj jekologii* [Problems of Regional Ecology], 2018, no. 6, pp. 40-45.
2. Vinyuseva G.V. Jekologicheskij analiz flory i rastitel'nosti okrestnostej zabroshennogo melovogo dobyvajushhego kar'era u r.p. Staraja Kulatka [Ecological analysis of flora and vegetation of the neighborhood of the abandoned Cretaceous mining quarry near the village of Staraya Kulatka]. *Samarskij nauchnyj vestnik* [Samara Scientific Herald], 2015, no. 2 (11), pp. 51-53.
3. Vorobyeva L.A. *Himicheskij analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. MOSCOW: MSU, 1998, 272 p.
4. Gosudarstvennaja programma [State program of the Republic of Crimea]. *Respubliki Krym «Ohrana okruzhajushhej sredy i racional'nogo ispol'zovanija prirodnyh resursov Respubliki Krym na 2018-2020 gody»* [Environmental protection and rational use of natural resources of the Republic of Crimea for 2018-2020], approved by the Decree of the Council of Ministers of the Republic of Crimea], 2017, no. 619 (2). [https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT\\_1.pdf](https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpmhxADT_1.pdf)
5. Dmitrakova Ja.A, Abakumov E.V, Pershina E.V, Ivanova E.A, Andronov E.G. Dinamika rastitel'nogo soobshhestva i mikrobioma hronoseriij posttehnogennyh

- pochv v izvesnjakovom kar'ere v uslovijah rekul'tivacii [Dynamics of the plant community and microbiome chronoserries posttechnogenic soils in the limestone quarry under reclamation]. *Sel'skhozjajstvennaja biologija* [Agricultural Biology], 2018, no. 3(53), pp. 554-569.
6. Dragan N.A. *Pochvy Kryma* [Soils of the Crimea]. Simferopol: TNU, 2009, 95 p.
  7. Yena A.V. *Prirodnaja flora Krymskogo poluostrova* [Natural flora of the Crimean Peninsula]. Simferopol: N. Orianda, 2012, 232 p.
  8. Zen'kov I., Vokin V., Kirjushina E., Morin A., Mironova Zh., Kondrashov P., Fedorov A., Veretenova T. Issledovanie formirovanija rastitel'noj jekosistemy na uchastkah narushennyh zemel' Ajhal'skogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Study of the formation of the plant ecosystem in the areas of disturbed lands of the Aikhal Mining and Processing Plant]. *Jekologija i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2020, no. 24(1), pp. 46-50. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-1-46-50>
  9. Ivanova L.V. Zarubezhnyj opyt reshenija problem rekul'tivacii zemel', narushennyh v processe nedropol'zovanija [Foreign experience in solving the problems of reclamation of lands disturbed during subsoil use]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mountain Information and Analytical Bulletin], 2015, no. 56, pp. 491-498.
  10. Ipatov V.S., Mirkin D.M. *Opisanie fitocenoza: Metodicheskie rekomendacii* [Description of phytocenosis: Methodological recommendations]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University, 2008, 71 p.
  11. Kobechinskaja V.G., Yarosh O.B. Rekul'tivacija na kar'erno-otval'nyh kompleksah tehnogennyh territorij v predgornom Krymu [Recultivation at the quarry-disposal complexes of technogenic territories in the foothills of the Crimea]. *Jekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovanija* [Economics of Construction and Nature Management], 2021, no. 1 (78), pp. 35-37.
  12. Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovanija klimaticeskikh izmenenij i ih prognoz na territorii Kryma [Patterns of formation of climatic changes and their forecast on the territory of the Crimea]. *Nauchnye vedomosti: Estestvennye nauki* [Nauchnye vedomosti: Natural science], 2016, issue 36, no. 18, 239 p.
  13. Postanovlenie Soveta ministrov Respubliki Krym [Decree of the Council of Ministers of the Republic of Crimea], 2020, No22. *O provedenii rekul'tivacii i konservacii zemel' i zemel'nyh uchastkov na territorii Respubliki Krym* [On the reclamation and conservation of lands and land plots on the territory of the Republic of Crimea]. [Official website of the Government of the Republic of Crimea]. <https://rk.gov.ru/ru/document/show/19884>
  14. Fedorkin S.I., Ljubomirskij N.V., Kogaj Je.A., Dudinskaja A.V. Syr'evaja baza stroitel'nyh materialov Kryma i puti ejo rasshirenija [Raw material base of



- building materials of Crimea and ways of its expansion]. *Jekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya* [Economics of Construction and Environmental Management], 2020, no. 4(77), pp. 66-71.
15. Khabirova L.M. *Samovosstanovlenie rastitel'nogo pokrova kar'erov po dobyche stroitel'nykh materialov na territorii Pespbliki Bashkortostan* [Self-vegetation of quarries for the extraction of construction materials in the Republic of Bashkortostan]. BGPU, 2017, 223 p.
  16. Diéguez-Aranda U. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain / Diéguez-Aranda U, Castedo-Dorado F, Álvarez-González, J. G, RodríguezSoalleiro. *European Journal of Forest Research*, 2005, no. 124, pp. 143-153.
  17. Ergina E.I., Ergin S.M., Sidorenko I.Ya. Ecological and Economic Evaluation of the Disturbed Lands Recultivation Projects in the Republic of Crimea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, no. 459(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022021>
  18. Kochan R., Zawislak S., Bubela T., Ruda M., Boyko T. Regeneration of forest stands by mycorrhiza to promote sustainable development of post-technogenic landscapes. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2019, no. 19(6.1), pp. 881-888. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/6.1/S25.114>
  19. Likhanova I.A., Kovaleva V.A. Controlled restoration of forest ecosystems on sandy technogenic substrates in the far northern taiga of the Russian European Northeast. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya*, 2018, no. 43, pp. 174-195. <https://doi.org/10.17223/19988591/43/9>
  20. Likhanova I.A., Kuznetsova Y.G., Novakovskiy A.B. Formation of Vegetative Cover in Quarries after Forest Recultivation in the Middle Taiga Subzone of the Komi Republic. *Contemporary Problems of Ecology*, 2021, no. 14(7), pp. 760-766. <https://doi.org/10.1134/S199542552107012X>
  21. Likhanova I.A., Kuznetsova Y.G., Novakovskiy A.B. Vegetative Cover Forming in Quarries after Forest Recultivation Being Performed in Middle Taiga Subzone of the North-East of the European Russia. *Russian Journal of Forest Science*, 2020, no. 5, pp. 424-432. <https://doi.org/10.31857/S0024114820050095>
  22. Prishchepov A.V., Myachina K.V., Kamp J., Smelansky I., Dubrovskaya S., Ryakhov R., Grudin D., Yakovlev I., Urazaliyev R. Multiple trajectories of grassland fragmentation, degradation, and recovery in Russia's steppes. *Land Degradation and Development*, 2021, no. 32(11), pp. 3220-3235. <https://doi.org/10.1002/ldr.3976>
  23. Zenkov I.V., Le Hung T., Vokin V.N., Kirushina E.V., Latyntsev A.A., Kondrashov P.M., Pavlova P.L., Konov V.N., Lunev A.S., Skorniyakova S.N., Maglinets

Yu.A., Raevich K.V. Technology Development for Mining-engineering Recultivation during Opencast Mining at Polymetallic Ore Deposits. *Ecology and Industry of Russia*, 2022, no. 26(1), pp. 54-59. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-1-54-59>

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Кобечинская Валентина Григорьевна**, к.б.н., доцент кафедры экологии и зоологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*valekohome@mail.ru*

**Ярош Ольга Борисовна**, д.э.н., профессор кафедры маркетинга, торгового и таможенного дела

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*Iarosh.olga.cfu@gmail.com*

**Просьянникова Ирина Борисовна**, к.б.н., доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»*

*просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, 295015, Республика Крым, Российская Федерация*  
*aphanisomenon@mail.ru*

---

---

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Valentina G. Kobechinskaya**, PhD, Docent of the Ecology and Zoology Department

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*valekohome@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9467-9533>*

*Scopus Author ID: 57210976735*

**Olga B. Yarosh**, Doctor of Economics, Professor of the Department of Marketing, Trade and Customs

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*iarosh.olga@gmail.com*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9663-2528>*

*SPIN-code: 7140-3642*

**Irina B. Prosyannikova**, PhD, Docent of the Botany and Physiology of Plants and Biotechnology

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*4, Vernadsky Str., Simferopol, Russian Federation*

*aphanisomenon@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6661-1064>*

Поступила 05.12.2022

После рецензирования 27.12.2022

Принята 30.12.2022

Received 05.12.2022

Revised 27.12.2022

Accepted 30.12.2022