

ОЦЕНКА ПРОДУКЦИОННЫХ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ ЗАСОЛЕННЫХ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ УКРАИНЫ

© 2019 г. С. А. Балюк¹, Е. Н. Дрозд^{1, 2, *}, О. Е. Найденова¹, А. А. Носоненко¹

¹Национальный научный центр “Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского”,
Украина, 61024, Харьков, ул. Чайковская, 4

²Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова,
Украина, 61002, Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17

*e-mail: elena_drozd@ukr.net

Поступила в редакцию 13.04.2018 г.

После доработки 19.06.2018 г.

Принята к публикации 24.10.2018 г.

Исследованы орошаемые, выведенные из орошения и неорошаемые массивы с черноземами южными (Calcic Chernozems) и темно-каштановыми почвами (Haplic Kastanozems) разной степени природного и ирригационного засоления и солонцеватости в пределах Ингулецкой оросительной системы (Херсонской и Николаевской областей Украины) для разработки системы оценки продукционных экосистемных услуг засоленных почв Украины. Предлагаемая система основывается на результатах оценки эколого-агротелиоративного состояния земель пилотных территорий и восприимчивости экосистемных услуг засоленных и солонцеватых почв к различным видам мелиорации. Установлено, что эколого-агротелиоративное состояние большинства неорошаемых почв пилотных территорий удовлетворительное, почв, орошаемых способом дождевания и выведенных из орошения, — хорошее и удовлетворительное в зависимости от уровня залегания и минерализации грунтовых вод, почв, орошаемых капельным способом, — неудовлетворительное из-за несоблюдения технологии орошения. Поливы слабоминерализованными водами вызывают изменения структуры микробных ценозов, нарушение оптимального соотношения численности микроорганизмов отдельных групп. В этих и выведенных из орошения почвах, которым свойственны процессы вторичного засоления и осолонцевания, наблюдается уменьшение численности микроорганизмов основных эколого-функциональных групп: эвтрофов, олиготрофов, актиномицетов и подавление ферментативной активности почв. Оценка восприимчивости экосистемных услуг засоленных орошаемых почв к мелиоративным воздействиям (химической мелиорации, мелиоративной плантажной вспашке) показала положительные изменения таких услуг, как продукционные, почва — как среда обитания видов, аккумуляции и сохранения углерода и фиксации азота. Предложена экспертная десятибалльная система оценки продукционных экосистемных услуг засоленных почв Украины, которая включает 8 показателей. По предложенной оценке участки с хорошим уровнем практически отсутствуют, удовлетворительный имеют 14 участков и неудовлетворительный — 1, что обусловлено преимущественно близкой глубиной залегания слабоминерализованных грунтовых вод. Предложенный подход дает возможность более полного использования продуктивных функций засоленных почв путем дифференциации мелиоративных нагрузок и их адаптации к функционированию биологических систем.

Ключевые слова: засоление, эколого-агротелиоративное состояние, микробный ценоз, ферментативная активность, мелиорация почв

DOI: 10.1134/S0032180X1904004X

Повышение уровня продуктивности и устойчивости сельского хозяйства является одной из стратегических целей Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО). Важнейшую роль при этом играет увеличение эффективности использования ресурсов. Почвы являются главным компонентом ресурсов, которые обеспечивают продуктивность сельского хозяйства, природных биоценозов, а также выполняют важные экологические функции

по регулированию процессов обмена веществом и энергией между наземными экосистемами, атмосферой, гидросферой и литосферой [2]. Экологически безопасное землепользование, которое основывается на способности почвы сохранять свои экологические функции при внешнем воздействии антропогенных факторов, является неотъемлемой составляющей устойчивого развития.

В настоящее время в мире активно ведется разработка вопросов, связанных с экосистемными

услугами почв, включая различные виды их оценки [5, 10, 29, 34, 36–38, 40–42, 47], но единого подхода к определению различий между экосистемными функциями и услугами в научной литературе нет. В общем понимании экосистемные услуги осуществляются за счет экосистемных функций, которые в свою очередь поддерживаются биофизическими структурами и процессами, именуемыми “поддерживающими услугами” [42]. Экосистемные услуги – это выгоды, которыми природа наделяет общество. По классификации ФАО экосистемные услуги включают обеспечивающие, регулирующие и культурные услуги, непосредственно влияющие на людей, и поддерживающие услуги, необходимые для сохранения других услуг [38]. Оценка экосистемных услуг призвана выявить воздействие экосистемных изменений на благополучие человека и научно обосновать мероприятия, необходимые для улучшения качества окружающей среды, обеспечения устойчивого использования экосистем и устойчивого развития [10, 42]. Интерес к экосистемным услугам почв значителен, поскольку изменение их качества связано с непосредственным влиянием антропогенного фактора. Использование почв считается рациональным, если все экосистемные услуги, предоставляемые почвой, сохраняются или улучшаются без значительного ухудшения функций почв, которые делают возможным предоставление таких услуг [19].

Украина является одной из наиболее освоенных в сельскохозяйственном отношении стран мира. По состоянию на 1 января 2017 г. земельный фонд Украины составляет 60.3 млн га, или около 6% территории Европы. Сельскохозяйственные угодья составляют около 19% общеевропейских, в том числе пашня – около 27%. Показатель площади сельскохозяйственных угодий в расчете на душу населения является самым высоким среди европейских стран и составляет 0.9 га, в том числе 0.7 га пашни; средний показатель европейских стран – 0.44 и 0.25 га соответственно. В целом площадь сельскохозяйственных земель составляет 42.7 млн га, или 70% площади всей территории страны, а площадь пашни – 32.5 млн га, или 78.4% площади всех сельскохозяйственных угодий [9]. В структуре земельных ресурсов страны и землепользования наблюдаются значительные диспропорции, углубление которых может представлять угрозу для окружающей природной среды и среды обитания, а также эффективности хозяйственной деятельности и устойчивого развития в целом.

Более половины территории Украины находится в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения, участились затяжные периоды засух, поэтому продовольственное и ресурсное обеспечение страны, как и многих стран мира, в значительной степени зависит от состояния и

эффективности использования почв мелиоративного фонда. Одним из самых серьезных проявлений деградации таких почв является засоление. Засоленные почвы требуют особого внимания при ведении земледелия. Во-первых, их сельскохозяйственное освоение тесно связано с необходимостью применения сложного комплекса специальных мелиоративных мероприятий по рассолению. Во-вторых, засоление почвы может возникать в процессе эксплуатации незасоленных массивов в орошаемом земледелии в результате развития процессов вторичного засоления. В-третьих, ареал засоленных почв динамичен, поскольку рассоление почв может сопровождаться одновременным появлением процесса вторичного засоления и осолонцевания и новых ареалов засоления на смежных территориях [11, 14, 15, 22, 31].

Мелиорация засоленных почв является частью единой системы взаимосвязанных приемов управления их плодородием и позволяет существенно снизить риски потерь урожая в результате неблагоприятных и экстремальных природно-климатических условий, повысить плодородие почв, улучшить экологическую обстановку, создать гарантированный продовольственный фонд [11].

Использование любых мероприятий по управлению плодородием почв является по сути вмешательством в естественный почвообразовательный процесс, вследствие которого изменяются экосистемные услуги почвы. Эти изменения могут носить как положительный, так и отрицательный характер, обуславливать разную степень устойчивости и адаптации экосистемы к новым условиям функционирования. Вопросы оценки экосистемных услуг засоленных почв, их изменений под влиянием мелиораций и применения на Украине практически не изучены, в связи с чем они приобретают особую научную и практическую значимость.

Учитывая экологические риски, связанные с изменением климата, такие как деградация земель и опустынивание [33], использование и охрана земель должны осуществляться для поддержки многофункциональности природных и управляемых экосистемных услуг почв засоленных ландшафтов путем применения сбалансированных мелиоративных нагрузок. Целью изучения экосистемных услуг засоленных и солонцеватых почв под влиянием мелиорации является повышение информативности о потенциале таких почв, как без мелиорации, так и при применении мелиоративных мероприятий. Это позволит планировать и внедрять экологически и экономически взвешенные, адаптированные к изменяющимся почвенно-климатическим и социальным условиям сбалансированные мелиора-

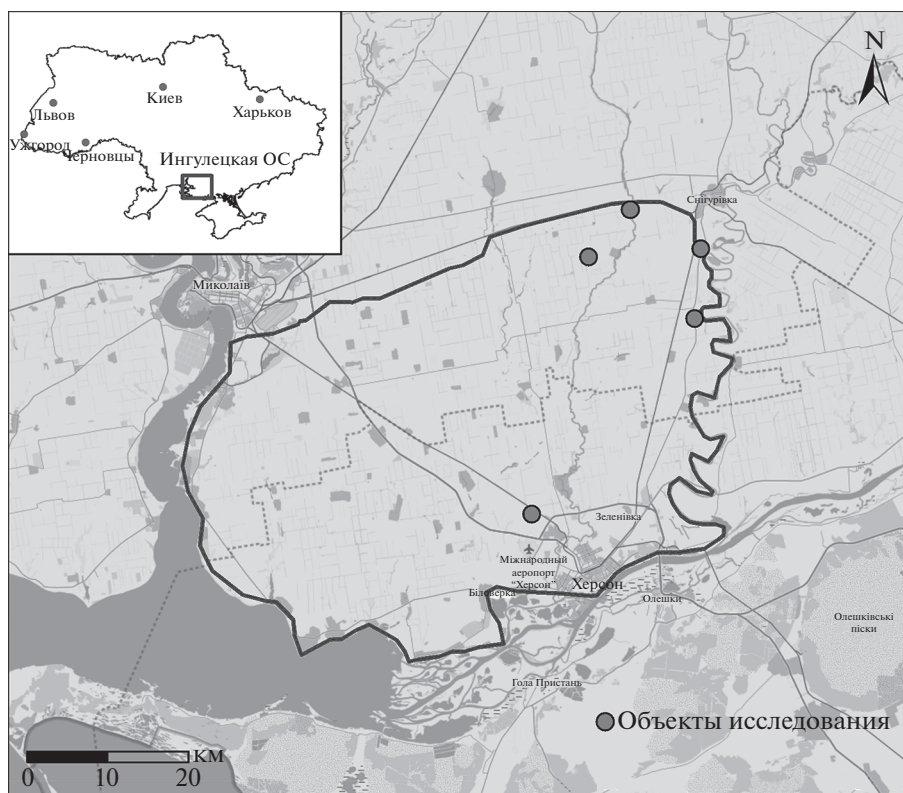


Рис. 1. Схема Ингулецкой оросительной системы.

тивные нагрузки, направленные на устойчивое управление засоленными почвами [8, 10].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Предлагаемая система оценки продукционных экосистемных услуг засоленных почв Украины основывается на результатах определения эколого-агротелиоративного состояния земель пилотных территорий и восприимчивости экосистемных услуг засоленных и солонцеватых почв к различным видам мелиорации.

Исследования проведены в 2016–2017 г. на территории Ингулецкой оросительной системы, одной из крупнейших на Украине. Система введена в эксплуатацию в 1956–1963 гг. для хозяйств Николаевской и Херсонской областей. Площадь орошаемых земель – 76,5 тыс. га (рис. 1). Она расположена в пределах центральной и южной частях Причерноморской впадины на правом берегу Днепра и занимает южную половину Бугско-Ингулецкого коренного лёссового плато, представляющего собой слаборасчлененную степную равнину с незначительным общим наклоном на юг, запад и юго-запад. Орошение осуществляется водами р. Ингулец, которые смешиваются с водой р. Днепр.

Многолетними исследованиями [3, 11, 14] и практикой эксплуатации Ингулецкой оросительной системы показано, что формирование качества оросительной воды в магистральном канале зависит от организованных и неорганизованных составляющих водного баланса. На водозаборах качество воды формируется в зависимости от соотношения притока пресных вод р. Днепр и минерализованных вод р. Ингулец. Минерализация воды р. Ингулец увеличивается при сбросах сточных вод предприятий Криворожского промышленного района, однако уменьшается при организованных промывках водой Карачуновского водохранилища, выпадении атмосферных осадков и в паводок. В поливной период уровень воды в р. Ингулец снижается, и повышается приток воды р. Днепр, соответственно качество воды улучшается. На протяжении всех лет эксплуатации системы минерализация оросительной воды изменялась в пределах 1,5–3,0 г/дм³, тип солей – от сульфатно-хлоридного магниевое-натриевого до хлоридно-натриевого. Иногда в воде увеличивалось содержание отдельных токсичных тяжелых металлов в несколько раз больше фонового уровня. Для данной системы характерными деградационными процессами являются ирригационное засоление и осолонцевание почв, подь-

ем уровня минерализованных грунтовых вод, заболачивание и др.

Почвенный покров системы представлен преимущественно черноземами южными (Calcic Chernozems) и темно-каштановыми почвами (Haplic Kastanozems) легкоглинистого и тяжело-суглинистого гранулометрического состава разной степени природного и ирригационного засоления и солонцеватости [3].

Эколого-агромелиоративное состояние, как функция трансформации природных условий территории под влиянием агроирригационных нагрузок, является интегральной характеристикой состояния орошаемых земель и степени их деградации на Украине. Среди ключевых показателей его оценки – гидрогеологические (уровень, гидрохимический состав и минерализация грунтовых вод), почвенно-мелиоративные (степень засоления, ощелачивания и солонцеватости почв, их водно-солевой и питательный режимы, качество оросительных вод по агрономическим критериям), эколого-токсикологические (содержание тяжелых металлов) и агрономические (качество урожая, производительность культур) [14].

На основе анализа космических снимков, картографической информации, литературных источников, результатов предыдущих исследований выбраны 15 пилотных территорий. Они включали неорошаемые, орошаемые (с системами дождевания и капельного орошения) массивы и территории, на которых прекращено орошение (далее выведенные из орошения земельные массивы), с разным уровнем грунтовых вод: 12 с уровнем 1–4 м и 3 – с уровнем более 5 м.

Для детального и оперативного почвенного обследования с целью уточнения географии почвенных выделов в полевых условиях применяли беспилотные летательные аппараты. Почвенные разрезы закладывали согласно контурам карты-версии почвенного покрова. Количество разрезов определяли масштабом съемки с учетом категории сложности. На ключевых участках каждый виртуальный контур на карте-версии был охарактеризован базовым почвенным разрезом. Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам. Дополнительно бурили три скважины, из которых отбирали образцы по слоям через каждые 25 см до глубины 100 см.

В образцах оросительных и грунтовых вод определяли солевой состав, содержание азота, фосфора, калия и тяжелых металлов.

В почвенных образцах изучали электропроводность фильтрата из водонасыщенной пасты, катионно-анионный состав водной вытяжки (1 : 5), содержание обменно-поглощенных катионов по методу Шолленбергера в модификации ННЦ ИПА, карбонатов кальция кислотнo-основным титрованием по В.Е. Соколовичу, активность ионов

натрия и кальция в почвенных пастах потенциометрическим методом, содержание гумуса методом Тюрина, нитратного и аммонийного азота, подвижных форм фосфора и калия в 1%-ном углекислом аммонии по методу Б.П. Мачигина, микроагрегатный и гранулометрический составы методами Н.А. Качинского. Для оценки степени загрязнения почв определяли содержание подвижных форм тяжелых металлов и микроэлементов (марганца, цинка, кадмия, железа, кобальта, меди, никеля, свинца, хрома) в ацетатно-аммонийной буферной вытяжке с рН 4.8 методом атомно-адсорбционной спектроскопии, согласно действующих на Украине ДСТУ 4770.1-4770.9.

В пробах почв, отобранных в слое 0–25 см, проводили микробиологические и биохимические исследования. Определяли численность микроорганизмов основных эколого-трофических, таксономических и физиологических групп методом микробиологического посева почвенных суспензий соответствующих разведений на плотные агаризованные питательные среды [12, 26, 27]: органотрофных бактерий – на мясо-пептонном агаре, микроорганизмов, усваивающих азот минеральных соединений и актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре, олиготрофных микроорганизмов – на голодном агаре, грибов – на среде Рихтера. Биохимическую активность почв определяли по активности ферментов инвертазы [12], дегидрогеназы [28] и полифенолоксидазы [4].

В образцах растительной продукции содержание тяжелых металлов исследовали методом атомно-адсорбционной спектроскопии.

Для определения восприимчивости экосистемных услуг засоленных и солонцеватых почв к мелиоративным воздействиям проводили сравнительное изучение параметров почвенных показателей на объектах-аналогах в условиях длительных стационарных опытов. Почвенный покров и качество оросительных вод были те же, как на пилотных территориях Ингулецкой оросительной системы. Исследуемые мелиоративные мероприятия: химические способы улучшения качества оросительных вод (серная кислота, железный купорос, фосфогипс, мел, разложенный серной кислотой, и его стабильная суспензия), химическая мелиорация почв (различные дозы внесения фосфогипса), мелиоративная плантажная вспашка на глубину 60–65 см.

Все анализы проводили в аттестованных лабораториях Национального научного центра “Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского”, в соответствии с действующей на Украине нормативно-методической базой.

По полученным результатам построены картограммы ключевых показателей для каждой из исследуемых территорий.

В работе использовали материалы гидрогеолого-мелиоративных экспедиций Государственного агентства водных ресурсов Украины, областных центров охраны почв, служб Министерства охраны природы, фондовые материалы Национального научного центра “Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского”.

Для оценки продукционных экосистемных услуг почв использовали картосхемы показателей, включенных в предлагаемую систему оценки. Полученные в результате оцифровки наборы векторных объектов (полигонов) послужили основой оверлейного анализа, проведенного путем наложения полигонов пилотных территориях и объединения их атрибутивных данных. Анализ выполняли с помощью инструмента Intersect из модуля Spatial Analyst в программе ArcGIS 10.2. Каждая исследуемая территория была разбита на полигоны сечения, для каждого из которых получены объединенные атрибутивные данные (уровень и минерализация грунтовых вод, степень засоления, степень солонцеватости и др.). Эти данные интерпретированы в баллы, рассчитан средний балл для каждого полигона сечения. Завершающим этапом было присвоение каждому полигону, образовавшемуся после пересечения исходных полигонов, категории состояния, исходя из полученного среднего балла по шкале выполнения уровня продукционных экосистемных услуг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Орошение – мощный фактор воздействия на почвы и выведения ее из системного равновесия с целью дальнейшей стабилизации на новом, более высоком продуктивном уровне. Длительными исследованиями установлено, что с началом орошения изменяются условия функционирования всех составляющих природной среды, в том числе происходят изменения в направленности и скорости почвенных процессов. Результаты этих изменений зависят от качества оросительных вод и объемов подачи воды на поля, климатических и гидрогеологических условий регионов развития орошения, буферных свойств почв, техники и технологий орошения, общей культуры земледелия и др. [6, 7, 11, 14, 17, 16, 20–22, 24, 45].

Поступление в почву дополнительной к естественной влаги влияет, прежде всего, на водный и солевой режимы орошаемых почв, что определяет направленность и изменение их биологического ритма. Изменчивость почв в пространстве и времени обусловлена реакцией почвенных режимов в ответ на состав оросительных вод и соответствующие изменения гидротермических условий [13, 14, 23].

Анализ проб оросительных вод показал, что в период проведения исследования их общая минерализация составляла 0.9–1.9 г/дм³, рН в пределах нейтрального (6.9–7.4), тип солей – сульфатно-хлоридный магниевый-натриевый. Оросительная вода, согласно действующим на Украине ДСТУ 2730:2015 и ДСТУ 7286, соответствовала второму классу – ограниченно пригодна для орошения по опасности засоления и осолонцевания почв оросительной системы и первому классу – пригодна для орошения по опасности ошелачивания и по экологическим критериям.

До начала орошения на большей части территории Ингулецкой оросительной системы грунтовые воды в толще четвертичных отложений на водораздельном плато практически отсутствовали, и лишь в отдельные, достаточно влажные годы формировалась верховодка, которая спустя некоторое время исчезала. Более стабильный водоносный горизонт был в подовых впадинах и котловинах стока, где уровень грунтовых вод имел ярко выраженный сезонный характер с амплитудой колебаний 3–5 м/год. Под влиянием орошения на большей части территории режим грунтовых вод определяется соотношением приходных (инфильтрация от поливов и осадков, фильтрация из каналов и др.) и расходных составляющих баланса (суммарное испарение и отток) [3]. Согласно данным гидрогеолого-мелиоративных экспедиций, на сегодняшний день практически половина орошаемых земель Ингулецкой оросительной системы имеет уровень грунтовых вод ближе 3 м от поверхности, что создает угрозу подтопления, засоления и осолонцевания земель и требует применения искусственного инженерного дренажа, а также комплекса соответствующих агро-мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Результаты исследований в пределах пилотных территорий показали, что почвы неорошаемых контрольных площадок характеризуются глубиной залегания грунтовых вод 4–5 м (полуавтоморфные условия), их хлоридно-сульфатным или сульфатным магниевый-натриевым или натриево-магниевым химическим составом, общей минерализацией 2.1–2.8 г/дм³ (слабоминерализованные). В почвах участков, выведенных из орошения, глубина залегания грунтовых вод 2–3.5 м (автоморфно-гидроморфные условия), их состав хлоридно-сульфатный или сульфатный магниевый-натриевый или натриево-магниевый при общей минерализации 2.3–2.6 г/дм³ (слабоминерализованные). Почвы участков, орошаемых способом дождевания, характеризуются глубиной залегания грунтовых вод 3–3.5 м (автоморфно-гидроморфные условия), их химический состав сульфатный магниевый-натриевый или натриево-магниевый, общая минерализация 2.4–2.8 г/дм³ (слабоминерализованные). Почвы участ-

ков, орошаемых капельным способом, характеризуются глубиной залегания грунтовых вод 1–2 м (полугидроморфные и гидроморфные условия), состав сульфатный магниевый-натриевый или натриево-магниевый, общая минерализация 1.9–3.1 г/дм³ (слабоминерализованные).

Почвы неорошаемых контрольных площадок характеризовались незначительным содержанием токсичных солей (0.05–0.08%), что свидетельствует об отсутствии засоления. Слабая степень засоления черноземов южных наблюдалась преимущественно на участках применения капельного орошения, отдельных массивах орошения дождеванием (содержание токсичных солей в слое 0–100 см 0.15–0.18%) и выведенных из орошения участках (содержание токсичных солей в слое 0–100 см 0.23%).

В последние годы на Украине в связи с сокращением в несколько раз площадей фактического орошения наблюдается процесс рассоления и частичного рассолонцевания выведенных из орошения земель. Засоленные и солонцеватые почвы распространены преимущественно на территориях с автоморфно-гидроморфными условиями [11, 14].

Суммарная ирригационная и природная солонцеватость почв слабой степени наблюдалась преимущественно в слое 0–50 см только орошаемых различными способами (дождевание и капельное орошение) и выведенных из орошения почв пилотных территорий и обусловлена содержанием поглощенного калия, которым природно обогащены почвы исследуемого региона. Для этих почв характерны агрофизические признаки солонцеватости (повышенная плотность сложения и глыбистость структурных макроагрегатов).

Вместе с тем ореолы засоления и солонцеватости динамичны и зависят от гидрогелого-мелиоративных условий территории в различные годы (рис. 2).

Содержание общего гумуса в пахотных слоях исследуемых почв всех пилотных территорий колеблется в пределах 2.6–3.8%, что соответствует средней и повышенной степени гумусированности. Такое содержание гумуса является природной характеристикой почв исследуемой зоны. Достоверных изменений содержания гумуса в зависимости от мелиоративных условий на этапе проведения исследований не выявлено. Содержание минерального азота в почвах колебалось в пределах средней и низкой степеней обеспеченности. Обеспеченность подвижными формами фосфора преимущественно повышенная и высокая, иногда средняя. Обеспеченность подвижными формами калия очень высокая в почвах всех пилотных территорий. Почвы на глубине 0–50 см не загрязнены тяжелыми металлами.

Изменения солевого состава и физико-химических свойств, водно-воздушного и питательно-

го режимов, которые происходят в почвах при орошении слабоминерализованными водами, вызывают изменения структуры микробных ценозов, нарушение оптимального соотношения численности микроорганизмов отдельных групп [11]. По мере увеличения длительности орошения слабоминерализованными водами наблюдается усиление биологической деградации почв [14].

Исследованиями пилотных территорий установлено, что после года орошения дождеванием в почвах наблюдалось увеличение численности микроскопических грибов на 18%, олиготрофов на 30% относительно неорошаемого контроля, что является следствием улучшения их водного режима. Однако в почвах, длительно орошаемых способом дождевания, и в почвах, выведенных из орошения, которые ранее орошались слабоминерализованными водами в течение продолжительного времени, численность органотрофных бактерий была ниже, чем в аналогичных неорошаемых почвах, на 75%, микроорганизмов, ассимилирующих азот минеральных соединений, – в 2.6 раза, актиномицетов – почти вдвое, олиготрофных микроорганизмов – на 21%. Это свидетельствует о существенном ухудшении условий функционирования почв за годы орошения и отсутствии тенденции к их улучшению после выведения из орошения на данном этапе исследований.

Средняя численность микрофлоры на участках с орошением в течение 1 года была на 10% больше, чем в аналогичных неорошаемых почвах, а в выведенных из орошения почвах, до этого орошавшихся длительное время водами неблагоприятного ирригационного состава, снижение численности микроорганизмов составило в среднем 62%. В условиях капельного орошения почв с близким уровнем залегания минерализованных грунтовых водой низкого качества с превышением оросительных норм, численность микроорганизмов исследуемых групп была меньше, чем в аналогичной неорошаемой почве в среднем на 13%. С повышением степени засоления почвы также наблюдалось уменьшение численности микроорганизмов.

В орошаемых почвах с развитием процессов вторичного засоления и осолонцевания наблюдалось снижение ферментативной активности по сравнению с неорошаемыми аналогами: дегидрогеназной – на 5%, инвертазной – на 9%, полифенолоксидазной – на 12%. В выведенных из орошения вторично засоленных и осолонцованных почвах наблюдалось более существенное уменьшение активности ферментов: дегидрогеназы – на 15%, инвертазы – на 26%, полифенолоксидазы – на 23%. В условиях капельного орошения активность дегидрогеназы снизилась на 13%, инвертазы – на 29%, полифенолоксидазы – на 17%. При увеличении степени ирригационного засо-

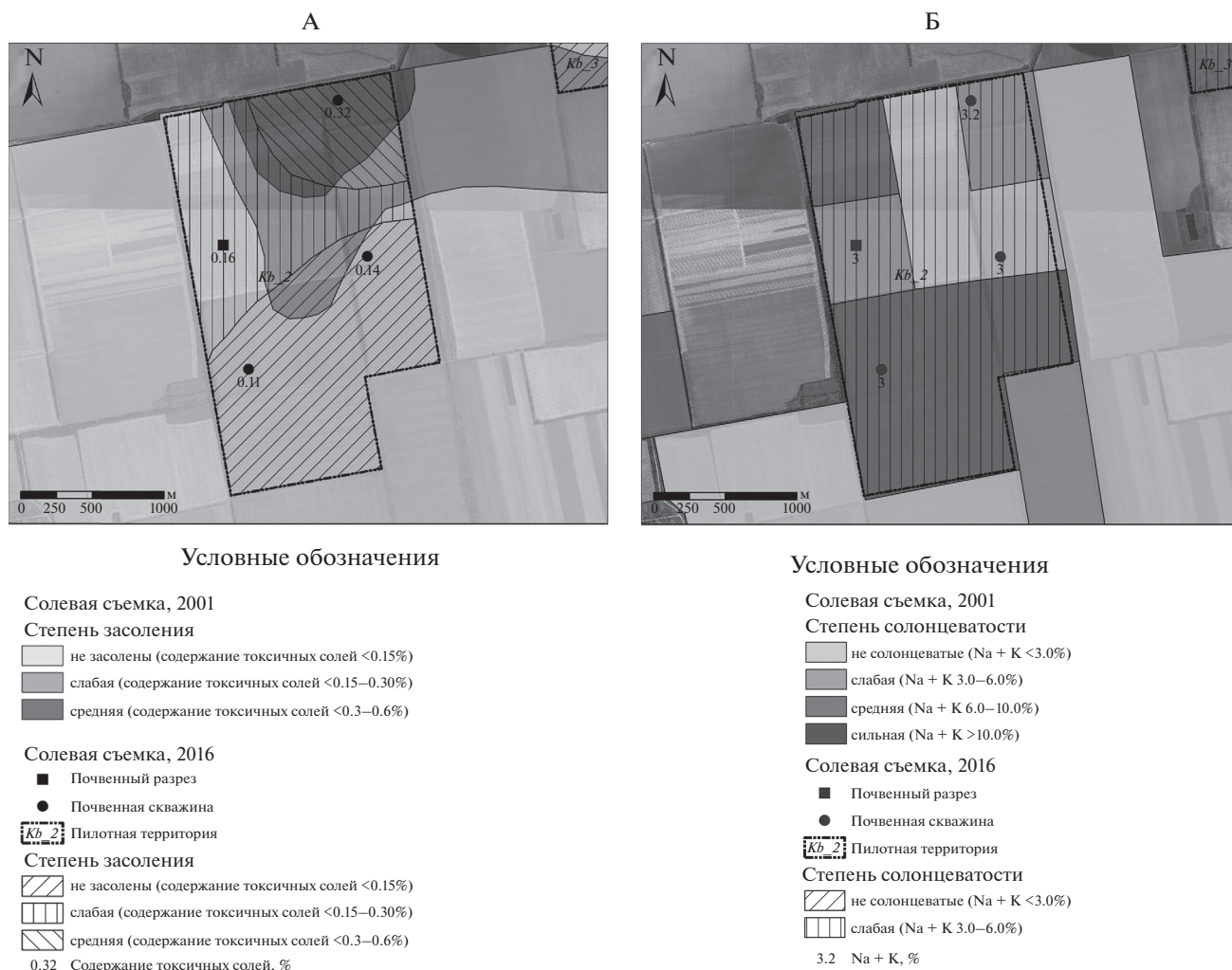


Рис. 2. Динамика засоления (А) и солонцеватости (Б) почв на примере пилотной территории (орошение способом дождевания чернозема южного).

ления почвы ферментативная активность также уменьшалась, особенно дегидрогеназная и инвертазная, на 7 и 16% соответственно.

Для анализа восприимчивости экосистемных услуг к мелиоративным воздействиям в условиях длительных стационарных опытов исследовали влияние наиболее распространенных видов мелиорации (химической мелиорации оросительных вод и почв, мелиоративной плантажной вспашки) на почвенные свойства.

Сравнительное изучение эффективности различных мелиорантов для улучшения состава оросительных вод (серная кислота, железный купорос, фосфогипс, мел, разложенный серной кислотой, и его стабильная суспензия) и их влияния на почвенные свойства показало, что фосфогипс в максимально растворимой дозе наиболее оптимизирует качество оросительной воды. Применение таких вод способствовало некоторому уменьшению проявления физической солонце-

ватости почв, что обуславливало получение прибавок урожая сельскохозяйственных культур [7]. Однако ни один из предложенных методов не устраняет опасности засоления почв и токсичного воздействия на растения, которая существует при применении для орошения минерализованных вод [7, 14, 25].

Применение химической мелиорации почв (различные дозы фосфогипса) несколько ограничивало, но полностью не устраняло осолонцовывающее действие оросительной воды. Отмечалась тенденция улучшения агрофизических показателей почв. Применение химической мелиорации в комплексе с минеральными и органическими удобрениями способствовало увеличению содержания органического вещества. Применение мелиоративных приемов не устраняло проявлений биологической деградации, а лишь смягчало их. Использование фосфогипса отдельно и вместе с минеральными и органиче-

скими удобрениями способствовало увеличению численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп. Урожайные данные также подтвердили эффективность химической мелиорации только в составе комплекса приемов (навоз + полные дозы минеральных удобрений + фосфогипс) [7, 14].

Применение мелиоративной плантажной вспашки (60–65 см) способствовало рассолению и рассолонцеванию почвы, улучшению агрофизических свойств. В длительном ее последствии наблюдается увеличение содержания гумуса в пахотном горизонте до уровня неплантажированных аналогов, при этом его запасы в слое 0–60 см на 20% выше. Корнеобитаемый слой плантажированных почв лучше обеспечен доступными питательными веществами. Существенно улучшаются условия функционирования микробных ценозов. На 30-й год последствий на плантажированных участках урожайность озимой пшеницы была выше, чем на контроле на 10–15% [1, 7].

ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексная оценка эколого-агромелиоративного состояния неорошаемых земель по приведенным показателям является удовлетворительной. Это обусловлено, прежде всего, опасностью подъема уровней грунтовых вод, средним содержанием органического вещества и минерального азота, чего недостаточно для максимальной реализации потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур. Слишком высоким в зональных почвах является содержание обменного калия. Эта особенность свойственна почвам всех групп, характеризующихся по степеням мелиоративных воздействий.

Эколого-агромелиоративное состояние выведенных из орошения земель с уровнем грунтовых вод более 5 м оценено как хорошее, 3.5–4 м – удовлетворительное, 2–3 м – неудовлетворительное. Аналогичным было эколого-агромелиоративное состояние почв, орошаемых способом дождевания. Такая оценка обусловлена наличием слабой степени солонцеватости, средним содержанием органического вещества и минерального азота и подвижного фосфора, что является недостаточным для максимальной реализации потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур. При условии возобновления орошения выведенных из поливов почв водой второго класса существует опасность дальнейшего ирригационного засоления и осолонцевания черноземов южных из-за возможности подъема минерализованных грунтовых вод до критического уровня.

В последние годы в зоне Ингулецкой оросительной системы наблюдается широкое исполь-

зование фермерами капельного орошения при выращивании овоще-бахчевых культур. Несоблюдение технологии капельного орошения относительно мелиоративных условий, качества оросительных вод, норм поливов, почвенных процессов и режимов зачастую приводят к усилению деградационных процессов и ухудшению эколого-агромелиоративного состояния таких земель. Эколого-агромелиоративное состояние пилотных территорий с капельным орошением по приведенным показателям оценивается как неудовлетворительное. Исследуемые участки характеризуются исходным близким уровнем залегания грунтовых вод около 2 м. В условиях капельного орошения это приводит к периодическому подтоплению почв. При таких гидрогеологических условиях грунтовые воды непосредственно влияют на почвенный профиль, изменяя его морфологическое строение. Происходят интенсивные процессы оглеения, а в случае повышения минерализации грунтовых и оросительных вод также засоления и осолонцевания, что и имеет место на исследуемых землях. Потенциал продуктивности сельскохозяйственных культур в этих условиях не может быть реализован.

Микробиологические показатели не входят в состав системы оценки эколого-агромелиоративного состояния почв, однако являются информативным его индикатором. Почвенные микроорганизмы обеспечивают широкий спектр экосистемных услуг, необходимых для обеспечения стабильного функционирования всех экосистем. Они регулируют динамику органического вещества почв, эмиссию парниковых газов, модифицируют физическую структуру и водный режим почвы. Эти услуги важны не только для функционирования природных экосистем, но и являются ресурсом для эффективного управления агроэкосистемами. Изменение структуры микробных сообществ, сужение их видового разнообразия приводит к нарушению средорегулирующих функций микроорганизмов и питательного режима почвы. В антропогенных экосистемах возрастает значимость каждого вида для поддержания устойчивого состояния экосистемы. Почвенные условия непосредственно влияют на разнообразие видов педобионтов, в частности микроорганизмов.

В большинстве имеющихся в научной литературе публикаций отмечено пагубное влияние засоления и осолонцевания на микробные ценозы почв и их функционирование [32, 35, 39, 43–46, 48–50]. Наши исследования подтвердили, что продолжительное орошение водой второго класса приводит к сокращению численности микроорганизмов главных эколого-функциональных групп и ферментативной активности почв. Длительное орошение водами неблагоприятного состава или несоблюдение мелиоративных условий

Таблица 1. Показатели оценки продукционных экосистемных услуг засоленных мелиорированных почв юга Украины и их параметры

Показатель оценки	Уровень оказания услуг, его оценка в баллах		
	хороший 10 баллов	удовлетворительный 5 баллов	неудовлетворительный 0 баллов
Качество оросительной воды по агрономическим критериям	1 класс	2 класс	3 класс
Средняя за вегетационный период глубина залегания уровня грунтовых вод, м	Больше 5	2–5	Меньше 2
Минерализация грунтовых вод, г/дм ³	–	Меньше 3	Больше 3
Степень засоления почвы, слой 0–100 см	Отсутствует	Слабая	Средняя, сильная
Степень солонцеватости почвы, слой 0–30 см	Отсутствует	Слабая	Средняя, сильная
Уровень содержания нитратного и аммонийного азота, слой 0–50 см	Высокий	Средний, повышенный	Очень низкий, низкий
Уровень содержания подвижного фосфора, слой 0–30 см	Высокий	Средний, повышенный, очень высокий	Очень низкий, низкий
Уровень содержания обменного калия, слой 0–30 см	Высокий	Средний, повышенный	Очень низкий, низкий, очень высокий

и технологии при капельном орошении также вызывает угнетение микробного ценоза почвы.

Эффективность и длительность последствия различных видов мелиорации увеличиваются в ряду: химическая мелиорация оросительных вод < химическая мелиорация почв < мелиоративная плантажная вспашка [7, 14, 25].

Из поддерживающих экосистемных услуг наиболее восприимчивой к мелиоративным воздействиям является услуга “почва – как среда обитания видов”. Применение мелиоративных мероприятий на засоленных и солонцовых почвах способно улучшать условия функционирования микробных ценозов и расширять их видовой состав.

Из регулирующих экосистемных услуг наиболее восприимчивыми к мелиоративным воздействиям являются услуги аккумуляции и хранения углерода и фиксации азота. Применение мелиоративных мероприятий (особенно химической мелиорации почв и мелиоративной плантажной вспашки) способствует гумусонакоплению и возрастанию фиксации азота. А в случае с мелиоративной плантажной вспашкой увеличивается глубина активизации течения микробиологических и гумусово-аккумулятивных процессов. Наиболее длительное последствие на указанные свойства имеет мелиоративная плантажная вспашка [1].

Наиболее восприимчивыми услугами к мелиоративным воздействиям являются продукционные экосистемные услуги (в части производства растительной продукции). Применение химической мелиорации оросительных вод, орошаемых почв, комплекса агротехнических мероприятий, мелиоративной плантажной вспашки обеспечи-

вало достоверные прибавки урожаев сельскохозяйственных культур по сравнению с вариантами без мелиорации. Наиболее длительное последствие на урожайность сельскохозяйственных культур имеет мелиоративная плантажная вспашка. Положительный эффект на свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур сохраняется более 30 лет [1, 14].

Высокий уровень сельскохозяйственного освоения земель Украины и ее потенциал в обеспечении продовольственной безопасности Европы и мира ставит продукционные экосистемные услуги (производство биомассы) в число приоритетных. Продукционные экосистемные услуги почв определяются набором показателей режимов и параметров, которые различны в зависимости от эколого-генетического статуса почв. В условиях юга Украины для засоленных мелиорированных почв главными показателями, определяющими их плодородие, являются качество оросительной воды по агрономическим критериям; гидрогеологические показатели (средняя за вегетационный период глубина залегания уровня грунтовых вод и их минерализация); показатели солевого состояния почвы (степени засоления и солонцеватости); агрохимические свойства почвы (содержание минерального азота, подвижного фосфора и калия) [7].

Оценку продукционных экосистемных услуг засоленных почв (черноземов южных и темнокаштановых почв) при их мелиорации в условиях юга Украины, согласно результатам наших исследований, предлагаем проводить по 10-балльной шкале по набору показателей, приведенных в табл. 1. Параметры показателей включают три

градации по уровням их предоставления: хороший (10 баллов), удовлетворительный (5 баллов), неудовлетворительный (0 баллов) [18].

Исследованиями установлено, что при использовании для орошения вод первого класса (пригодных для орошения по агрономическим и экологическим критериям) [8, 11, 14], высокой культуре земледелия и применении научно обоснованной системы удобрений имеет место окультуривание почв, повышение их естественного и эффективного плодородия за счет лучшей увлажненности, увеличение содержания питательных макро- и микроэлементов, положительного баланса гумуса, повышения общей биогенности. Применение для орошения таких вод оценивается в 10 баллов. При использовании для орошения вод второго и третьего классов (ограниченно пригодны и непригодны по агрономическим и экологическим критериям) развивается целый ряд деградационных процессов (засоление, осолонцевание, подщелачивание, ухудшение агрофизических свойств, диспергация, дегумификация, обеднение питательными элементами, загрязнение токсикантами, перераспределение по профилю иллитовой фракции, угнетение и изменение видового состава микробиоценоза и др.). При таких условиях деградационные изменения обуславливают невозможность полного воспроизводства ресурсов почвенного плодородия, приводят к прогрессирующему снижению урожайности. Соответственно, при применении для орошения вод второго класса их предлагается оценивать в 5 баллов, а третьего класса – в 0 баллов.

Гидрогеологические показатели: средняя за вегетационный период глубина залегания уровня грунтовых вод и их минерализация – взаимосвязаны. При глубине залегания грунтовых вод более 5 м они не влияют на почвенный профиль, поэтому при любой их минерализации оба показателя оцениваются в 10 баллов. При глубине залегания грунтовых вод от критической до 5 м, они периодически влияют на нижнюю часть почвенного профиля благодаря капиллярному поднятию, что может вызвать развитие таких негативных процессов, как оглеение и засоление в слабой степени. Это снижает оценку показателей до 5 баллов. Если при этом минерализация грунтовых вод превышает 3 г/дм³, то возможно засоление почв в средней степени, что снижает оценку показателя минерализации грунтовых вод до 0 баллов. При глубине залегания грунтовых вод меньше критической они регулярно интенсивно влияют на почвенный профиль, вызывают интенсивное развитие процесса оглеения, создают крайне неблагоприятные условия для роста и развития культурных растений из-за ухудшения водного, газового, питательного и биологического режимов, что снижает оценку показателей до 0 баллов независимо от минерализации грунтовых вод.

Степень засоления (слой 0–100 см) и степень солонцеватости почвы (слой 0–30 см) обуславливают ряд других взаимосвязанных свойств (агрофизических, физико-химических и др.), что влияет на степень выполнения почвами продукционных экосистемных услуг. Возрастание степени проявления данных процессов усиливает их отрицательное влияние на почвенные свойства. Наличие средней и сильной степени засоления и солонцеватости почв обуславливает оценку по этому показателю в 0 баллов.

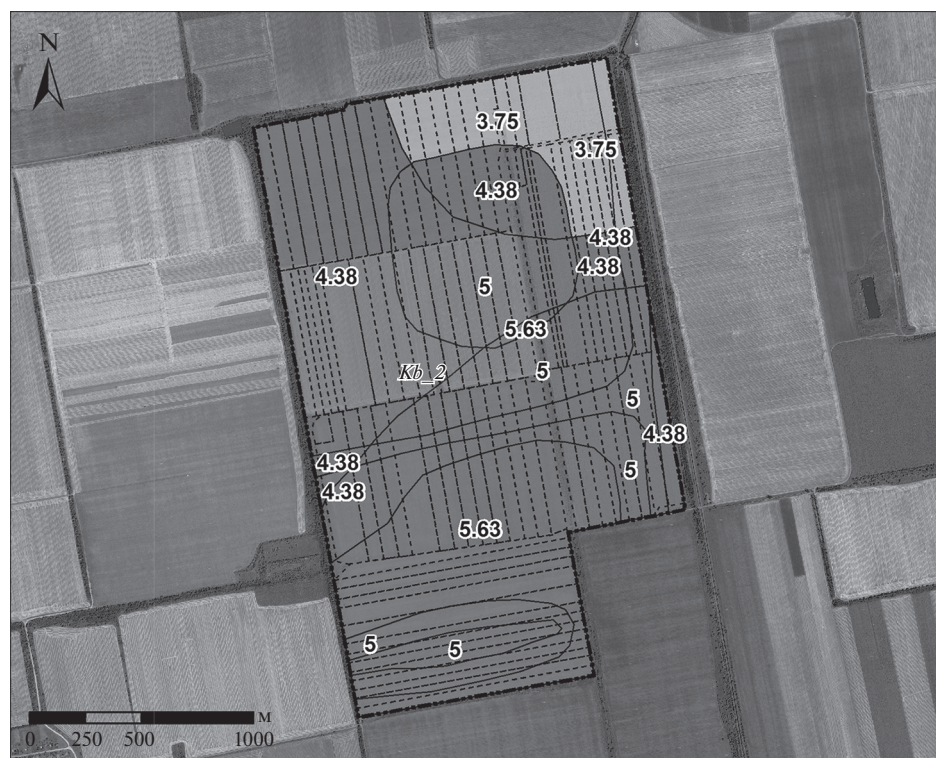
Содержание питательных веществ оценивается по уровням обеспеченности ими почв в соответствии с существующей на Украине нормативной базой. Очень высокий уровень содержания подвижного фосфора (слой 0–30 см) предлагается оценивать в 5 баллов, поскольку такое содержание для культурных растений не является оптимальным и может наносить определенный вред. Очень высокий уровень содержания обменного калия предлагается оценивать в 0 баллов, поскольку в условиях орошения ограниченно пригодными по опасности осолонцевания водами может вызывать ухудшение целого ряда почвенных режимов и свойств.

Для общей оценки предоставления продукционных экосистемных услуг предлагается следующая градация ее уровней:

- неудовлетворительный – от 0 до 4 баллов (снижение продуктивности более 30% от запланированной);
- удовлетворительный – от 4.1 до 7 баллов (снижение продуктивности до 30% от запланированной);
- хороший – от 7.1 до 10 баллов (урожайность на уровне запланированной).

Оценка предоставления продукционных экосистемных услуг засоленными почвами пилотных территорий согласно предложенной системе показала, что участки с хорошим уровнем почти отсутствуют, удовлетворительный имеют 14 участков и неудовлетворительный – 1. Неудовлетворительный уровень предоставления продукционных экосистемных услуг был обусловлен преимущественно близкими уровнями залегания слабоминерализованных грунтовых вод. Полученные результаты отражены на итоговых картосхемах с помощью цветных заливок (рис. 3) для каждой пилотной территории.

Сопоставление картосхем уровней предоставления продукционных экосистемных услуг засоленными почвами пилотных территорий с данными кадастровой карты позволяет рекомендовать ландшафтно-адаптивные способы мелиорации, оптимальные механизмы регулирования использования почв на пилотных территориях, как для отдельных землепользователей, так и для концессий [18]. Применение предлагаемой системы позволит бо-



Условные обозначения

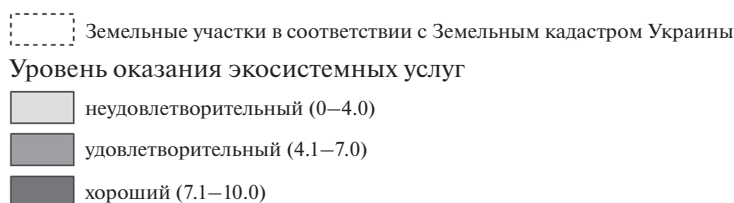


Рис. 3. Объединение картосхемы предоставления продукционных экосистемных услуг почвами пилотной территории с данными кадастровой карты.

лее полно использовать потенциал и производительные функции засоленных почв Украины путем дифференциации мелиоративных нагрузок как основы стабильного управления почвенными ресурсами и охраны окружающей среды на местном и общегосударственном уровнях.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы орошаемые, выведенные из ирригации и неорошаемые массивы черноземов южных и темно-каштановых почв в пределах Ингулецкой оросительной системы. Оросительные воды системы ограниченно пригодны для орошения по опасности засоления и осолонцевания почв и пригодны для орошения по опасности ощелачивания и экологическим критериям.

2. Установлено, что в пределах исследованных территорий неорошаемых участков глубина залегания грунтовых вод составляет 4–5 м, участках,

орошаемых способом дождевания, – 3–3.5 м, выведенных из орошения – 2–3.5 м, орошаемых капельным способом – 1–2 м. Химический состав грунтовых вод сульфатный магниевый-натриевый или натриево-магниевый, минерализация 1.9–3.1 г/дм³ (слабоминерализованные).

3. Почвы неорошаемых участков являются незасоленными. Суммарная ирригационная и природная солонцеватость почв слабой степени наблюдалась преимущественно в слое 0–50 см орошаемых дождеванием и капельным орошением и выведенных из поливов почв. Ореолы засоления и солонцеватости динамичны и зависят от гидрогеолого-мелиоративных условий территории в различные годы.

4. Достоверных изменений содержания гумуса в зависимости от мелиоративных условий на этапе проведения исследований не выявлено. Его содержание в пахотном слое исследуемых почв колеблется в пределах 2.6–3.8%. Обеспеченность мине-

ральным азотом низкая и средняя, подвижными формами фосфора – повышенная и высокая, подвижными формами калия – очень высокая.

5. Орошение слабоминерализованными водами вызывает изменение структуры микробных ценозов, нарушение оптимального соотношения численности микроорганизмов отдельных групп. Непродолжительное орошение дождеванием способствует увеличению численности микроскопических грибов и олиготрофов при улучшении водного режима почв. В длительно орошаемых слабоминерализованными водами и выведенных из орошения вторично засоленных и осолонцованных почвах наблюдается уменьшение численности микроорганизмов основных эколого-функциональных групп: эвтрофов, олиготрофов, актиномицетов и подавление ферментативной активности почв. Нарушение технологии капельного орошения также усиливало проявление биологической деградации.

6. Комплексная оценка эколого-агроемелиоративного состояния неорошаемых земель является удовлетворительной, что обусловлено опасностью подъема уровня грунтовых вод, средним содержанием органического вещества и минерального азота, высоким содержанием обменного калия. Эколого-агроемелиоративное состояние почв, орошаемых способом дождевания, и выведенных из орошения земель с глубиной залегания грунтовых вод более 5 м оценено как хорошее, 3.5–4 м – удовлетворительное, 2–3 м – неудовлетворительное. Эколого-агроемелиоративное состояние пилотных территорий с близким уровнем грунтовых вод с капельным орошением по приведенным показателям оценивается как неудовлетворительное.

7. Оценка восприимчивости экосистемных услуг засоленных орошаемых почв к мелиоративным воздействиям (химической мелиорации, мелиоративной плантажной вспашке) показала положительные изменения услуг: продукционных, почва – как среда обитания видов, аккумуляции и хранения углерода и фиксации азота. Отмечено увеличение эффективности и длительности последствий различных видов мелиорации в ряду: химическая мелиорация оросительных вод < химическая мелиорация почв < мелиоративная плантажная вспашка.

8. Предложена система оценки продукционных экосистемных услуг засоленных почв Украины, которая основывается на результатах определения эколого-агроемелиоративного состояния земель пилотных территорий и восприимчивости экосистемных услуг засоленных и солонцеватых почв к различным видам мелиорации. Оценку продукционных экосистемных услуг засоленных черноземов южных и темно-каштановых почв при их мелиорации в условиях юга Украины, предлагаем проводить по 10-балльной шкале по

восьми показателям. Параметры показателей включают три уровня: хороший (10 баллов), удовлетворительный (5 баллов), неудовлетворительный (0 баллов). Оценка проводилась с использованием методов цифровой картографии.

9. Применение данной системы показало, что участки с хорошим уровнем продуктивных экосистемных услуг почвами пилотных территорий почти отсутствуют, удовлетворительный имеют 14 участков и неудовлетворительный – 1, что обусловлено преимущественно близкими уровнями залегания слабоминерализованных грунтовых вод.

Благодарность. Результаты получены в рамках выполнения работ по проекту Глобального почвенного партнерства ФАО “Оценка экосистемных услуг засоленных почв под влиянием мелиорации”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балюк С.А., Дрозд Е.Н., Гаврилович Н.Е. Комплексная оценка агрогенных изменений свойств солонцовых почв сухих степей Украины // Вестник аграрной науки. 2014. № 9. С. 44–48. (на укр. яз.)
2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. М., 1986. 136 с.
3. Земли Ингулецкой оросительной системы: состояние и эффективное использование / Под ред. В.А. Ушкаренко, Р.А. Вожеговой. К.: Аграрная наука, 2010. 352 с. (на укр. яз.)
4. Карягина Л.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы в почве // Вестник АН БССР. Сер. с./х. наук. Минск, 1986. № 2. С. 40–41.
5. Касимов Д.В., Касимов В.Д. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования. М.: Мир науки, 2015. 91 с.
6. Ковда В.А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв. М.: Колос, 1984. 304 с.
7. Комплекс противодеградационных мероприятий на орошаемых землях Украины / Под ред. С.А. Балюка, М.И. Ромашенко, В.А. Сташука. К.: Аграрная наука, 2013. 160 с. (на укр. яз.)
8. Концепция экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров / Под ред. С.А. Балюка, М.И. Ромашенко. К.: Аграрная наука, 2004. 33 с. (на укр. яз.)
9. Концепция борьбы с деградацией земель и опустыниванием. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1024-2014-p>. (на укр. яз.)
10. Конюшков Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 26–49.
11. Мелиорация почв (систематика, перспективы, инновации) / Под ред. С.А. Балюка, М.И. Ромашенко, Р.С. Трускавецкого. Херсон, 2015. 668 с. (на укр. яз.)

12. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 224 с.
13. Манахова Е.В., Приходько В.Е., Дронова Т.Я., Скуратов Н.С., Докучаева Л.М., Шалашова О.Ю. Изменение физико-химических свойств и глинистых минералов при орошении и восстановлении черноземов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. 2004. № 1. С. 15–21.
14. Научные основы охраны и рационального использования орошаемых земель Украины / Под ред. С.А. Балюка и др. К.: Аграрная наука, 2009. 620 с. (на укр. яз.)
15. Новикова А.В. О проявлении и особенностях солонцовых свойств в почвах Степной и Сухостепной зон юга Украины // Почвоведение. 2007. № 7. С. 811–822.
16. Новикова А.Ф. Мелиоративное состояние орошаемых земель Ростовской области // Почвоведение. 2008. № 5. С. 599–613.
17. Оценка устойчивости агроландшафтов и почв к воздействию орошения (рекомендации). Харьков, 2013. 48 с. (на укр. яз.)
18. Оценка экосистемных услуг засоленных почв под воздействием мелиорации (методические рекомендации) / Под ред. С.А. Балюка, Е.Н. Дрозд. Харьков, 2017. 128 с. (на укр. яз.)
19. Пересмотренная всемирная хартия почв. Рим, 2015. URL: <http://www.fao.org/3/b-i4965r.pdf>.
20. Панкова Е.И., Конюшкова М.В. История изучения и основные направления развития методов оценки и картографирования засоленности почв аридных и семиаридных территорий // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 82. С. 122.
21. Панкова Е.И. Засоленные почвы России: решенные и нерешенные проблемы // Почвоведение. 2015. № 2. С. 131–144. doi 10.7868/S0032180X15020094
22. Полупан Н.И., Ковалев В.Г. Темпы и прогноз развития осолонцевания в орошаемых почвах юга Украины // Почвоведение. 1993. № 5. С. 75–83.
23. Приходько В.Е. Трансформация, деградация и меры восстановления орошаемых почв // География и природные ресурсы. 2000. № 1. С. 50–58.
24. Приходько В.Е. Трансформация степных и полупустынных почв при орошении // Современные естественные и антропогенные процессы в почвах и геосистемах. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. С. 134–155.
25. Современная концепция химической мелиорации кислых и солонцовых почв / Под ред. С.А. Балюка, Р.С. Трускавецкого. Харьков: ННЦ ИПА имени А.Н.Соколовского. 2008. 100 с. (на укр. яз.)
26. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии / Под ред. Г.С. Муромцева. Пер с венг. И.Ф. Куренного. М.: Колос, 1983. 296 с.
27. Теплер Е.З. Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Колос, 1972. 199 с.
28. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. С. 39–40.
29. Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. StatusQuoReport. М.: Центр охраны дикой природы, 2013. 45 с.
30. Андронов Е.Е., Петрова С.Н., Пинаев А.Г., Першина Е.В., Рахимгалиева С.З., Ахмеденов К.М., Горобец А.В., Сергалиев Н.К. Анализ структуры микробного сообщества в почвах с разной степенью засоления с использованием T-RFLP и методов ПЦР в реальном времени // Почвоведение. 2012. № 2. С. 173–183.
31. Baliuk S., Drozd E., Zakharova M. Scientific approaches to the rational use and management of saline soils fertility in Ukraine // Arid Lands Studies (JALS). 2015. V. 25. № 3. P. 69–72.
32. Batra L., Manna M.C. Dehydrogenase activity and microbial biomass carbon in saltaffected soils of semiarid and arid regions // Arid Soil Res. Rehabilitation. 1997. V. 11. № 3. P. 295–303.
33. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team / Eds. R.K. Pachauri, A. Reisinger. IPCC. Geneva, Switzerland, 2007. 104 p.
34. Dominati E.J. Natural capital and ecosystem services of soils. Ecosystem Services // New Zealand – Conditions and Trends. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 2013. P. 132–142.
35. Elmajdoub B., Marschner P. Salinity reduces the ability of soil microbes to utilize cellulose // Biol. Fertil. Soils. 2013. V. 49. P. 379–386.
36. Fileccia T., Guadagni M., Hovhera V. Ukraine: soil fertility to strengthen climate resilience. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. 79 p.
37. Fisher B., Turner R.K., Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making // Ecological Economics. 2009. V. 68. № 3. P. 643–653.
38. Food and agriculture organization of the united nations. URL: <http://www.fao.org/about/en/>.
39. Garcia C., Hernandez T. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciorthid soil // Plant and Soil. 1996. V. 178. № 2. P. 255–263.
40. Lehmann A., David S., Stahr K. TUSEC – Handbuch zur Bewertung von natürlichen Böden und anthropogenen Stadtböden [TUSEC – a manual for the evaluation of natural soils and anthropogenic urban soils]. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, 2008. 224 p.
41. Liana Ricci. Reinterpreting Sub-Saharan Cities through the Concept of Adaptive Capacity. An Analysis of Autonomous Adaptation in Response to Environmental changes in Peri-Urban Areas. Sapienza, 2016. 211 p.
42. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington: Island Press, 2005. 155 p.
43. Muscolo A., Mallamaci C., Panuccio M.R., Caputo R., DePascale S. Effect of long-term irrigation water salinity on soil properties and microbial biomass // Ecological Questions. 2011. V. 14. P. 77–83.

44. *Naydyonova O.E., Baliuk S.A.* Biological degradation of Chernozems under irrigation // *Eurasian J. Soil Sci.* 2014. V. 3. № 4. P. 267–273.
45. *Prikhod'ko V.Ye., Baliuk S.A., Singer M.J., Manakho-va E.V.* Irrigated soils: transformation, degradation processes and remediation measures // *Proc. of Int. Conf. of Anthropogenic Soil Formation.* M., 1997. P. 208–211.
46. *Szabolcs I.* Soil salinity and biodiversity // *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture* / Ed. D.L. Hawksworth. CAB, Wallingford, 1991. P. 105–115.
47. TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). Ecological and Economic Foundations / Ed. P. Kumar. London–Washington: Earthscan, 2010. 422 p.
48. *Rietz D.N., Haynes R.J.* Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity // *Soil Biol. Biochem.* 2003. V. 35. P. 845–854.
49. *Won V.N.L., Dalal R.C., Greene R.S.B.* Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil // *Biol. Fertil. Soils.* 2008. V. 44. P. 943–953.
50. *Yan N., Marschner P., Cao W., Zuo C., Qin W.* Influence of salinity and water content on soil microorganisms // *Int. Soil Water Conservation Res.* 2015. V. 3. P. 316–323.

Assessment of Productive Ecosystem Services of Salt-Affected Irrigated Soils of Ukraine

S. A. Balyuk^a, E. N. Drozd^{a, b, *}, O. E. Naidenova^a, and A. A. Nosonenko^a

^a*Sokolovskii Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry, ul. Chaikovskaya 4, Khar'kov, 61024 Ukraine*

^b*Beketov Khar'kov National University of Urban Economy, ul. Marshala Bazhanova 17, Khar'kov, 61002 Ukraine*

*e-mail: elena_drozd@ukr.net

Irrigated, withdrawn from irrigation, and nonirrigated plots with southern chernozems (Calcic Chernozems) and dark chestnut soils (Haplic Kastanozems) of different degrees of natural and irrigation-induced salinity and solonetzicity were examined in the area of the Ingulets irrigation system in Kherson and Nikolaev oblasts with the aim to assess productive ecosystem services of salt-affected soils in Ukraine. The suggested system is based on the results of the eco-agromeliorative assessment of land for pilot areas and takes into account susceptibility of the ecosystem services of salt-affected and solonetzic soils to different kinds of reclamation. In most cases, the soils of nonirrigated areas were characterized by the satisfactory eco-agromeliorative status, and the soils irrigated by sprinkling and withdrawn from irrigation had the good or satisfactory status depending on the depth and salinity of the groundwater. The soils subjected to drip irrigation were in the unfavorable state because of noncompliance with recommended irrigation technologies. Irrigation with slightly saline water caused changes in the structure of soil microbial cenoses and disturbance of the optimal ratios between different groups of microorganisms. In these soils and in the soils withdrawn from irrigation because of the development of secondary salinization and alkalization, the numbers of major trophic groups of microorganisms (eutrophs, oligotrophs, and actinomycetes) and the total soil enzymatic activity decreased. The assessment of susceptibility of the ecosystem services of salt-affected soils to reclamation impacts (chemical amelioration and deep meliorative plowing) demonstrated certain positive changes in the efficiency of soil ecosystem services, such as the productive capacity, the habitat of species, the storage pool for carbon, and the nitrogen fixation capacity. An expert ten-grade scale to assess the productive ecosystem services of salt-affected soils in Ukraine has been developed. It is based on eight characteristics. According to this scale, the plots with the good state of the soils are virtually absent in the examined area; the satisfactory state has been assigned to 14 plots; and the unsatisfactory state, to one plot with a shallow depth of saline groundwater. This approach provides for a more efficient use of the productive functions of salt-affected soils owing to differentiation of reclamation impacts on them and their adaptation to the functioning of biological systems.

Keywords: salinization, eco-agromeliorative state, microbial cenosis, enzymatic activity, soil reclamation