
**ДЕГРАДАЦИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ**

УДК 631.42;631.6

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ
К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАСОЛЕНИЮ В СОЛИГОРСКОМ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ
НА ОСНОВЕ ПОЧВЕННЫХ КОМБИНАЦИЙ**

© 2019 г. А. Н. Червань¹, *, С. С. Романенко¹

¹Институт почвоведения и агрохимии, ул. Казинца, 90, Минск, 220108 Белоруссия

*e-mail: chervanalex@mail.ru

Поступила в редакцию 04.04.2018 г.

После доработки 31.10.2018 г.

Принята к публикации 15.03.2019 г.

В рамках теории структуры почвенного покрова почвенные комбинации представлены как территориальные единицы для учета и оценки степени техногенного воздействия на почвы сельскохозяйственных земель в Солигорском горнопромышленном районе Белоруссии. По результатам инвентаризации структуры почвенного покрова представлена типовая характеристика почвенных комбинаций, состоящих преимущественно из дерново-подзолистых (Retisols), дерново-подзолистых глеевых (Gleysols) и торфяных низинных (Histosols) почв, разной степени засоления и устойчивости к техногенному химическому воздействию. Системный учет состояния почвенного покрова основан на информативности комбинаций почв как природных систем, пространственных единиц районирования и типологии земель. Приведена параметризация основных характеристик почвенных комбинаций с перспективой полуавтоматического и автоматического учета и мониторинга для обоснования стратегии целесообразного землепользования в условиях техногенного засоления. С использованием средств геоинформационных систем в репрезентативных по условиям почвообразования почвенных комбинациях учтены факторы перераспределения химических загрязняющих веществ. Сформирована пространственная основа оптимизации использования земель сельскохозяйственного назначения в виде пространственно-временных моделей устойчивости почв к техногенному засолению.

Ключевые слова: засоление почв, агроландшафт, геосистема, структура почвенного покрова, деградация почв, геоинформационные системы

DOI: 10.1134/S0032180X19080057

ВВЕДЕНИЕ

Не вызывает сомнений актуальность проблемы деградации продуктивных земель, о чем свидетельствует активная деятельность Организации объединенных наций в рамках Рамочных конвенций и протоколов в области борьбы с опустыниванием, охраны окружающей среды и биоразнообразия [6]. В Белоруссии одной из основных причин, сдерживающих проведение мероприятий по охране окружающей среды и борьбе с деградацией почв сельскохозяйственных земель, является отсутствие оперативной, точной и не затратной технологии выявления, картографирования, классификации, учета и оценки процессов деградации в условиях техногенного воздействия.

В Белоруссии Солигорский горнопромышленный район является крупнейшим центром техногенного влияния на почвенный покров за счет прямого и опосредованного химического

воздействия выбросов в атмосферу, твердых и жидких отходов производства калийных удобрений [12]. На бывших сельскохозяйственных землях размещаются солеотвалы, шламохранилища, карьеры, каналы, промышленные сооружения и коммуникации, в совокупности осложняющие использование почвенных ресурсов территории. Общий объем отходов производства всех рудоуправлений на объектах хранения (солеотвалах и шламохранилищах) составляет не менее 850.0 млн т. В результате многие почвы приобретают специфические свойства, в частности, повышенное содержание солей, которые нетипичны для почв дерново-подзолистой зоны [4].

Состояние почв и почвенного покрова является интегральным признаком, с одной стороны, устойчивости ландшафта к техногенному воздействию, с другой — возможности экологически безопасного хозяйственного использования почв

венно-земельных ресурсов. Устойчивость ландшафта к техногенным воздействиям [2] находится в тесной зависимости от условий физико-химической миграции типоморфных элементов [9]. Имеет место использование эколого-геохимической устойчивости в типологическом объединении почв в группы-ассоциации [3], которые, по мнению авторов, топологичны почвенным комбинациям (ПК). Анализ ПК, как операциональных единиц структуры почвенного покрова объединяет представление об общей и геохимической устойчивости ландшафта, одновременно учитывая буферность и возможность восстановления функционирования геосистем [9].

Анализ пространственно-временных изменений свойств и признаков почв в условиях техногенного засоления почвенного покрова направлен на оценку перспектив сельскохозяйственного использования земель на прилегающей территории к Солигорскому горнопромышленному району с использованием геоинформационных технологий. Авторами ранее выполнялись работы по геосистемному анализу почвенно-земельных ресурсов на основе агроэкологической оценки природно-ресурсного потенциала по параметрам ПК [8, 14]. При создании карт структуры почвенного покрова обнаружена возможность использования ПК в качестве территориальных единиц планирования природопользования [13] и локализации превентивных мер борьбы с деградацией почв, в частности с процессами водной эрозии [18]. Геосистемная инвентаризация факторов засоления почв, кросс-слоиный анализ в базе данных пространственно распределенных структур почвенного покрова и результатов лабораторных анализов проб почв с учетом индикаторов степени техногенного засоления почв позволят разработать эффективные меры неистощительного землепользования в Солигорском горнопромышленном районе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Солигорский район в агроклиматическом отношении относится к теплой умеренно влажной области: средняя температура января составляет -6.1°C , июля $- 18.1^{\circ}\text{C}$. Ежегодное количество осадков 600 мм, из них около 70% выпадает в теплый период времени. Vegetационный период длится в среднем 190–193 дня на севере района и 198–200 дней в центральной и южной частях. Рельеф района слабоволнистый, мелкохолмисто-грядовые моренные возвышения на севере постепенно переходят в плосковолнистые моренные и полого-волнистые моренно-зандровые и водно-ледниковые равнины с западинами и ложбинами. Почвенный покров представлен 11-ю генетическими типами почв, из них дерново-подзолистые заболоченные (Gleysols) занимают 31.7% района,

торфяно-болотные низинные (Histosols) – 25%, дерново-подзолистые автоморфные (Retisols) – 15.4% и дерновые заболоченные (Gleysols) – 13% территории [14].

Наиболее характерные для Солигорского района дерново-подзолистые заболоченные почвы сформированы под влиянием избыточного увлажнения атмосферными водами на склонах и в понижениях рельефа, а также на выравненных территориях при близком подстилании водоупорными породами. Рыхлосупесчаные и связносупесчаные временно избыточно увлажненные почвы встречаются повсеместно и имеют более благоприятный водно-воздушный режим. Встречаются дерново-подзолистые заболоченные почвы с иллювиально-гумусовым горизонтом разной мощности: характерна высокая степень дифференциации профиля как по морфологии, так и по химическим свойствам. Гумусово-аккумулятивный горизонт маломощный, подзолистый обеднен валовыми формами Fe, Al, Ca и Mg.

Агрофизическая и агрохимическая характеристика исследуемых почв приведена в статье настоящего номера, публикуемой по результатам оценки пространственно-временных изменений показателей засоления почв выполненной в рамках единого проекта в Солигорском горнопромышленном районе.

Методической основой пространственной оценки степени техногенного засоления является системный подход и геоинформационное моделирование. Система управления базами почвенных данных на территорию Солигорского района Минской области использует PostgreSQL/PostGIS и ArcGIS ESRI. Планово-картографические материалы по факторам природопользования, отражающие геологические, гидрогеологические и геоморфологические данные, информацию о почвенно-геоботанических условиях, составили исходную пространственную основу применения сравнительно-географического и функционально-генетического методов исследования. Отличие рассматриваемой методики от модели SOTER [20] заключается в том, что типовая характеристика условий местности, от рельефа до лесотипологических или болотных комплексов, считывается с крупномасштабных почвенных карт в ходе картометрического анализа структуры почвенного покрова. Орографические, геоморфологические, геоботанические и другие специализированные карты используются лишь в качестве дополнительных. Кадастровые сведения земельно-информационной системы Солигорского района внедрены в базу данных в качестве информации о фактическом землепользовании. Наполнение и актуализация базы данных проведена на базе классификаторов государственного земельного кадастра и номенклатурного списка почв Белоруссии [8].

Теория структуры почвенного покрова применена для идентификации ПК и их картометрической оценки. ПК закономерно объединяют данные о местности, геоморфологических, литологических и гидрологических особенностях, плодородии почв и производственной способности земель [12]. Определенные таким образом границы геосистем позволяют на типовой основе оценивать разнообразие почв [7]. Отдельные учетные записи индекса каждой комбинации в атрибутивных таблицах классов базы данных использовали для обозначения единицы пространственного и геостатистического анализа.

Качественная оценка устойчивости геосистем к химическому воздействию основана на показателях характера перераспределения влаги, обусловленных генезисом, гранулометрическим составом и степенью увлажнения почвообразующих пород и отражающих способности экосистем к самоочищению и почв к необменному поглощению загрязняющих веществ.

Изучение распределения солей в почвенном профиле с учетом степени гидроморфизма, и гранулометрического состава почвообразующих подстилающих пород в трех буферных зонах Солигорского горнопромышленного района проведено с использованием профилно-катенарного метода и ключевых участков ПК при отборе образцов почвы. Это позволило увеличить точность интерполяции профилных данных, используемых в цифровом почвенном картографировании с атрибутивной растеризацией [19]. Методом вложенных ключей определены места пробоотбора из генетических горизонтов каждой почвы, входящей в ПК. Отбор проб воды осуществляли из мелиоративных каналов при наличии в исследуемых геосистемах сети открытого дренажа. В каждой зоне влияния производства калийных удобрений на расстоянии до 1, 1–2, 2–3 км закладывали катены для отбора проб почвы в границах репрезентативных для района ПК. В первой зоне основным объектом были земли сельскохозяйственного назначения ОАО “Горняк” в непосредственной близости от солеотвалов и шламохранилищ ОАО “Беларуськалий”. Во второй и третьей зонах обследовали почвенный покров ОАО “Краснодворцы” и СПК “Большевик-Агро”. Территорию ОАО “Решающий” и ОАО “Старобинский”, расположенных относительно терриконов с противоположной стороны Солигорского водохранилища, использовали как фоновую при оценке содержания загрязняющих веществ в почве.

Отбор проб проводили из каждого генетического горизонта почвы с учетом номенклатурного положения элементов ПК и позиционированием в соответствии с системой координат базы данных.

ПК как основной объект исследований являются моделями геосистем, содержащими морфомет-

рическую, генетико-геоморфологическую, гипсометрическую и литологическую характеристику, обеспечивающую возможность оценки почвенно-ресурсного потенциала территории [11, 15]. Это дало основание рассматривать их также в качестве типов сельскохозяйственных или лесных земель при рекомендации оптимизационных мер по снижению техногенного засоления почв. Определение содержания ионов натрия, хлорид- и сульфат-ионов в воде выполняли по ГОСТ 26423-85, 26425-85, 26428-85, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – методом атомно-абсорбционной спектрометрии, подвижные и водорастворимые формы K^+ и Na^+ – методом пламенной фотометрии, ионов NH_4^+ – фотометрией, Cl^- – титрометрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геосистемная инвентаризация почвенного покрова в ГИС. В связи с тем, что в Солигорском районе границы ареалов засоления почв прослеживаются на удалении до 1–2 км от солеотвалов со скоростью расширения от нескольких до десятков метров в год, в исследованиях использованы геоинформационные средства пространственного анализа, позволяющие выполнить кросс-слойную и геостатистическую обработку данных. Пространственное размещение факторов техногенного засоления почв отражают классы-слои базы геоданных, показатели их воздействия содержатся в атрибутивных таблицах. Первый вид хранения данных обеспечивает пространственный анализ, второй – геостатистическую обработку его результатов.

На основе крупномасштабных картографических материалов и данных дистанционного зондирования создана цифровая почвенная карта (более 50000 записей в атрибутивной таблице) и разработана модель структуры почвенного покрова Солигорского района, выполнена маршрутная верификация фактического природопользования по видам земель и границам землепользователей. В таблицы созданной базы данных внесена информация, полученная как в результате работ по выявлению, дешифрированию и картографированию динамики процессов деградации почв на основе современных спутниковых данных и полевых работ, так и крупномасштабных земельно-кадастровых обследований, стационарных наблюдений, выполненных ранее [1, 13, 18].

Засоление почв на прилегающей территории к Солигорскому горнопромышленному району неравномерно как по площади, так и по времени проявления. Поэтому для каждой зоны техногенного воздействия выполнен детальный учет видов фактического землепользования и почвенно-географических условий в ранге геосистем, идентифицируемых по ПК.

Таблица 1. Иерархическая схема группировки почвенных комбинаций [9]

Критерии	Почвенные комбинации								
	внепойменные					пойменные			
Орографические	1. Водоразделы			2. Депрессии		3. Поймы			
Геоморфологические	1. Фрагментарные	2. Выпуклые	3. Плоские	1. Долинообразные	2. Озеровидные	1. Нерасчлененные	2. Расчлененные		
Гипсометрические	1. Высокие 2. Низкие			1. Неглубокие 2. Глубокие			1. Прирусловая	2. Центральная	3. При-террасная
Литологические (почвообразующие породы)	1. Рыхлые 2. Двучленные без водоупора 3. Двучленные с водоупором 4. Суглинистые 5. Глинистые 6. Торф					7. Рыхлый аллювий 8. Связный аллювий 9. Пойменный торф			

ПК закономерно объединяют условия рельефа местности, геоморфологические, литологические и гидрологические особенности в соответствии с приведенными критериями (табл. 1).

Характеристика почвенных комбинаций. По общей динамике природных, в том числе почвообразующих, процессов в структуре почвенного покрова выделяется группа внепойменных, находящихся на водораздельных пространствах, и пойменных ПК [12]. Орографически водораздельные пространства делятся на водоразделы, характеризующиеся поверхностным водным стоком, и депрессии, аккумулирующие сток. По геоморфологическим особенностям и рисунку почвенных ареалов ПК водоразделов представлены фрагментарными (молодые моренные образования), выпуклыми (сглаженные морены и водноледниковые равнины) и плоскими (донно-моренные, водно-ледниковые, озерно-аллювиальные равнины, отличающиеся локальным застоем влаги). Депрессии объединены в группы долинообразных (вытянутых сточных понижений с пологими склонами и широким основанием) и озеровидных (обширных компактных понижений рельефа). Отдельную группу составляют переходные зоны: комбинации с неупорядоченным расположением почвенных ареалов, чаще всего комплексом двух вариантов ПК, доля которых в общей формуле приближается к 50%. Из-за наибольшей энтропийной меры переходные зоны являются наиболее устойчивыми к внешнему воздействию геосистемами, экологическим каркасом территории [17]. В связи с высоким уровнем биоразнообразия целесообразно их использование для рекреационных целей или в качестве особо охраняемых территорий.

Каждая ПК определена гипсометрически: водоразделы высокие (косвенный признак — наличие не более 40% переувлажненных почв на рыхлых почвообразующих породах и 30% на связных) или низкие (более 40 и 30% соответственно); депрессии неглубокие (с преобладанием минеральных заболоченных почв) либо глубокие, заторфованные; поймы высокого, среднего или низкого уровня. По составу и литологии девяти вариантов почвообразующих пород ПК дифференцируются на рыхлые — пески рыхлые и связные, подстилаемые или сменяемые рыхлыми песками; двучленные породы без водоупора — супеси рыхлые и связные (реже суглинки), подстилаемые песками (реже супесями); двучленные с водоупором — супеси рыхлые и связные (реже пески), подстилаемые мореной или другой водоупорной породой; суглинистые — суглинки легкие пылеватые и супеси связные, подстилаемые мореной; глинистые — моренные и озерно-ледниковые глины; торф (низинный, верховой или переходный) и аллювий (рыхлый или связный) разной мощности.

Орографический подход, применяемый для водораздельных пространств, для пойм заменяется подразделением их на нерасчлененные (почвы сменяются только в продольном направлении поймы) и расчлененные (смена почв происходит в поперечном сечении поймы), которые по геоморфологическим особенностям были дифференцированы на прирусловые, центральные и притеррасные.

ПК содержат необходимую и достаточную информацию, с одной стороны, о почвенно-ресурсном потенциале по значению бонитета почвенных разновидностей, с другой — об устойчивости комбинации к тепловому и химическому воздействию в зависимости от агрофизических свойств и агрохимического состояния почв.

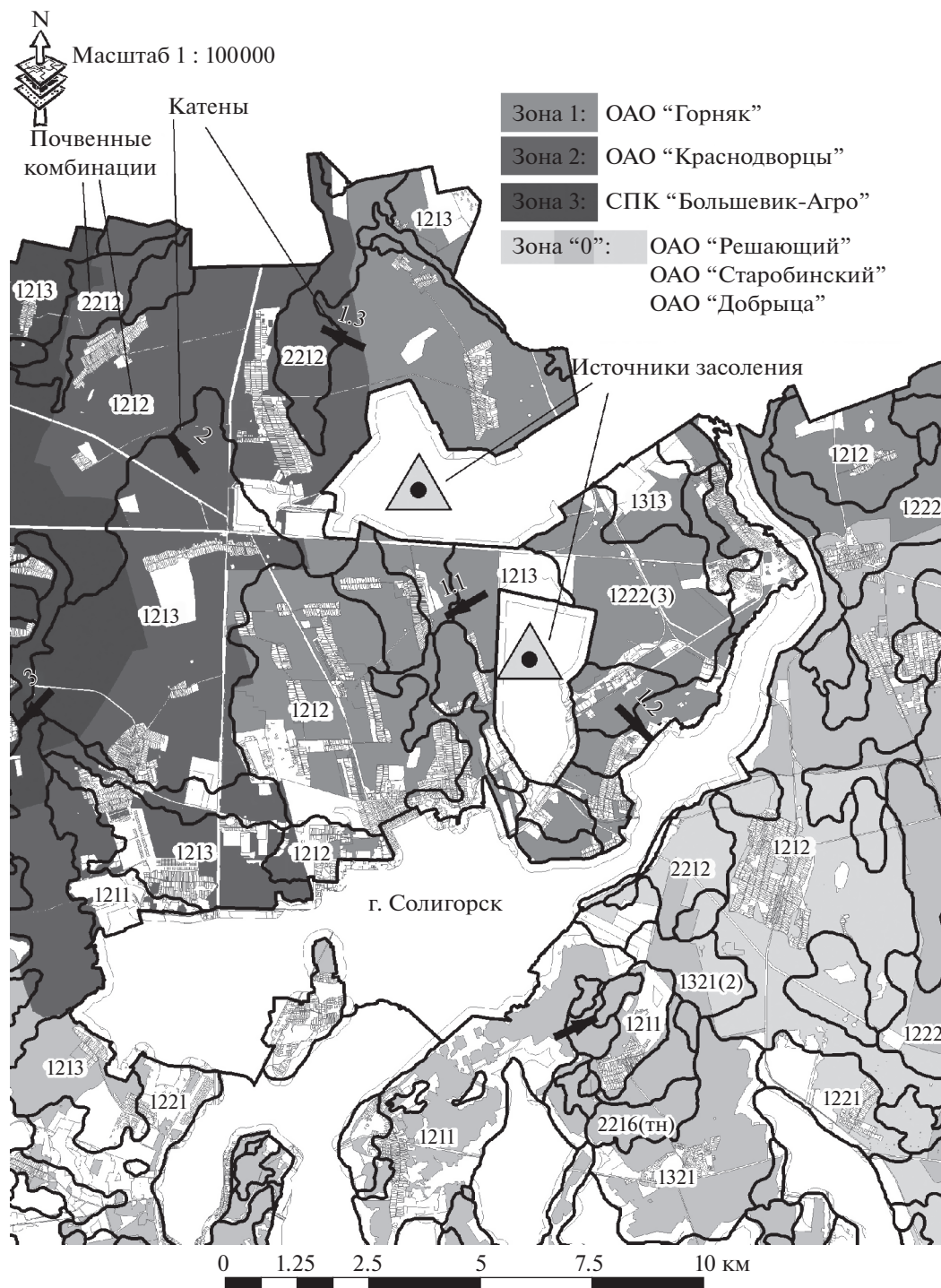


Рис. 1. Обследуемые сельскохозяйственные организации в зоне техногенного загрязнения.

Оценка устойчивости ПК к техногенному воздействию. Неизменяемой частью каждой ПК, определяющей ее экологическую устойчивость, является компонентный состав (перечень почв) с учетом неоднородности почвенного покрова, включающей оценку степени контрастности почв и их распространения – учет конфигурации и чередования ареалов.

Фрагмент карты ПК с источником техногенного засоления почв представлен на рис. 1. Компонентный анализ ПК в зонах техногенного засоления с определением их размеров и конфигурации на основе геосистемного подхода с типологической характеристикой факторов почвообразования позволил определить местоположение 925 ареалов 74 геосистем, 20 из которых

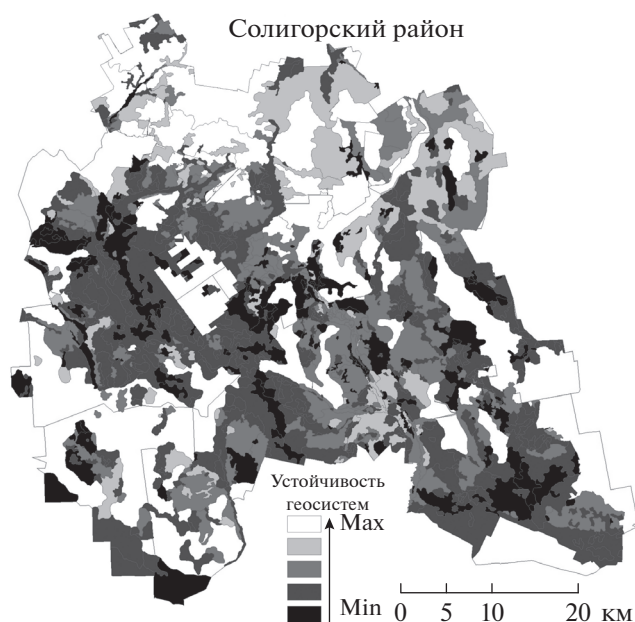


Рис. 2. Устойчивость геосистем Солигорского горно-промышленного района к техногенному загрязнению, включая засоление почв.

составляют 88.6% их общего количества, что соответствует площади 198.9 тыс. га. Долевое участие групп почвенных разновидностей в каждой комбинации использовали для качественной интерполяции результатов анализа содержания загрязняющих веществ в пределах сельскохозяйственных организаций трех зон техногенного воздействия. Наиболее распространенными ПК являются водораздельные пространства: 1213 и 1313 – выпуклые и плоские высокие на двучленных с водоупором почвообразующих породах; 1211 и 1222 – выпуклые высокие и низкие на рыхлых и двучленных без водоупора породах. Кроме того, значительные площади в структуре почвенного покрова заняты депрессиями неглубокими на двучленных без водоупора породах 2212 и заторфованные 2216(тн).

Оценка устойчивости геосистем к техногенному засолению помимо учета физико-химических свойств почв предусматривала выявление и картографирование процессов вероятной и фактической деградации почв. Фактическое использование почвенно-земельных ресурсов указывает на вероятность проявления деградационных процессов, поэтому по сведениям государственного земельного кадастра выполнен пространственный учет земель сельскохозяйственного назначения, переувлажненных территорий и болот, земель под древесно-кустарниковой растительностью, нарушенных и неиспользуемых земель. Для отдельных видов земель проявление деградационных процессов идентифицировалось ав-

томатически, например, для нарушенных при разработке полезных ископаемых, торфоразработках или при ведении строительных работ. На остальной территории устанавливалась вероятность деградации, сельскохозяйственные земли были дифференцированы на потенциально эрозионноопасные, дефляционноопасные, постмелиоративно деградированные или с возможным ухудшением культуртехнического состояния. Орографические условия ареалов деградации почв уточнялись по предварительно созданной цифровой модели рельефа с расчетом потенциального смыва почвы под действием ливневых осадков и в период снеготаяния.

Учтена удаленность от обогатительных фабрик, рельеф местности, вид земель, номенклатура ПК. Использовались данные полевых опытов, заложенных ранее. Например, опыт в ОАО “Горняк” Солигорского района на дерново-палево-подзолистой временно избыточно увлажненной суглинистой почве, развивающейся на лёссовидных суглинках, подстилаемых моренным суглинком с глубины 0.6 м, загрязненной хлором и натрием [4]. Степень деградации, в том числе засоления, ранжирована на низкую, среднюю, высокую и очень высокую в соответствии с установленными нормативными показателями [10]. Степень загрязнения почв оценивалась по кратному превышению фактического содержания элементов над их фоновыми содержаниями.

В Солигорском районе в условиях сельскохозяйственного использования земель определены наименее устойчивые геосистемы (рис. 2), которые в силу своих особенностей и местоположения способны к накоплению загрязняющих веществ и более раннему реагированию. Такие экосистемы входят в состав следующих геосистем: 1311(2) водоразделы плоские высокие на рыхлых почвообразующих породах, 1326(тн) водоразделы плоские низкие заторфованные (верховые и переходные болота), 2126(тн) и 2226(тн) – депрессии долинообразные и озеровидные глубокие заторфованные (дифференцированы по виду торфяной залежи), 32239 поймы центральные низкого уровня заторфованные, переходные зоны. Активность водно-эрозионных процессов и образование небольших конусов выноса в нижней части склонов, отраженных на рис. 3, является существенным фактором устойчивости ПК и латеральной внутрипочвенной миграции загрязняющих веществ. Визуальная оценка состояния растительного покрова вблизи шламохранилищ подтвердила высокую концентрацию хлора и натрия в верхних горизонтах почвы. Такие участки были дополнительно обследованы на факт загрязнения рассолами шламохранилищ.

Невозможность выполнения долгосрочных мониторинговых наблюдений в рамках проекта ма-

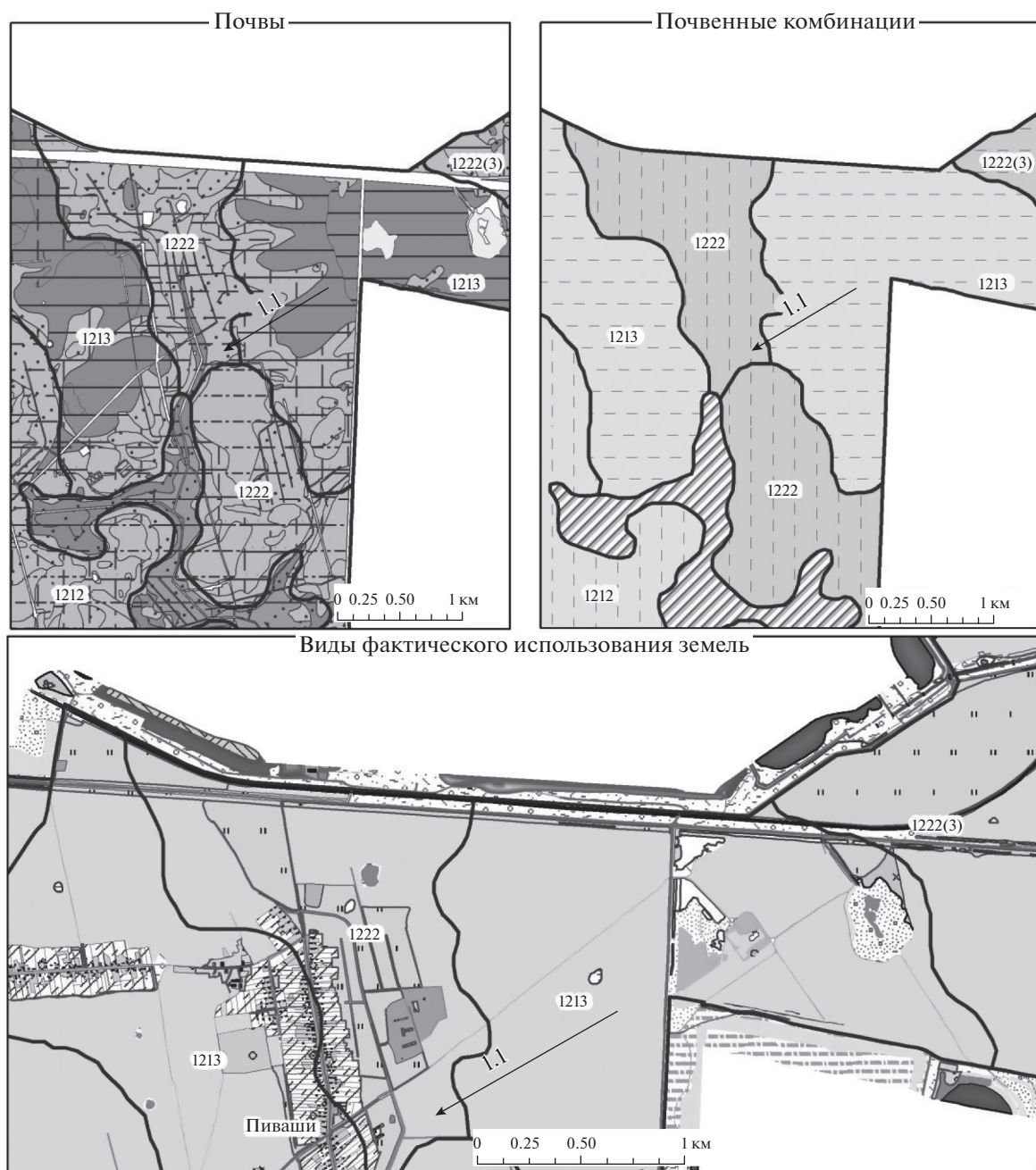


Рис. 3. Ключевой участок для закладки катены 1.1 по отбору почвенных проб с учетом номенклатуры почвенных комбинаций и фактического использования земель.

лого гранта Глобального почвенного партнерства обусловила применение геосистемного подхода к типизации структур почвенного покрова и геоинформационной интерполяции результатов лабораторных анализов проб почв по репрезентативным ПК. Исходными данными интерполяции степени засоления послужили результаты аналитических испытаний 98 почвенных образцов и проб воды 8 ключевых участков, охватывающих все почвенные разновидности репрезентативных

ПК. Обоснование нормативов качества воды водных объектов проведено в соответствии с принятыми в Белоруссии требованиями [3]. На рис. 3 отражены принципы идентификации ключевых участков для закладки почвенно-геохимических катен по отбору почвенных проб в каждой зоне загрязнения. Учтены границы ПК и видов земель. Цифра 1.1 на рис. 3 означает первую катену в зоне загрязнения 1, наиболее подверженной техногенному засолению.

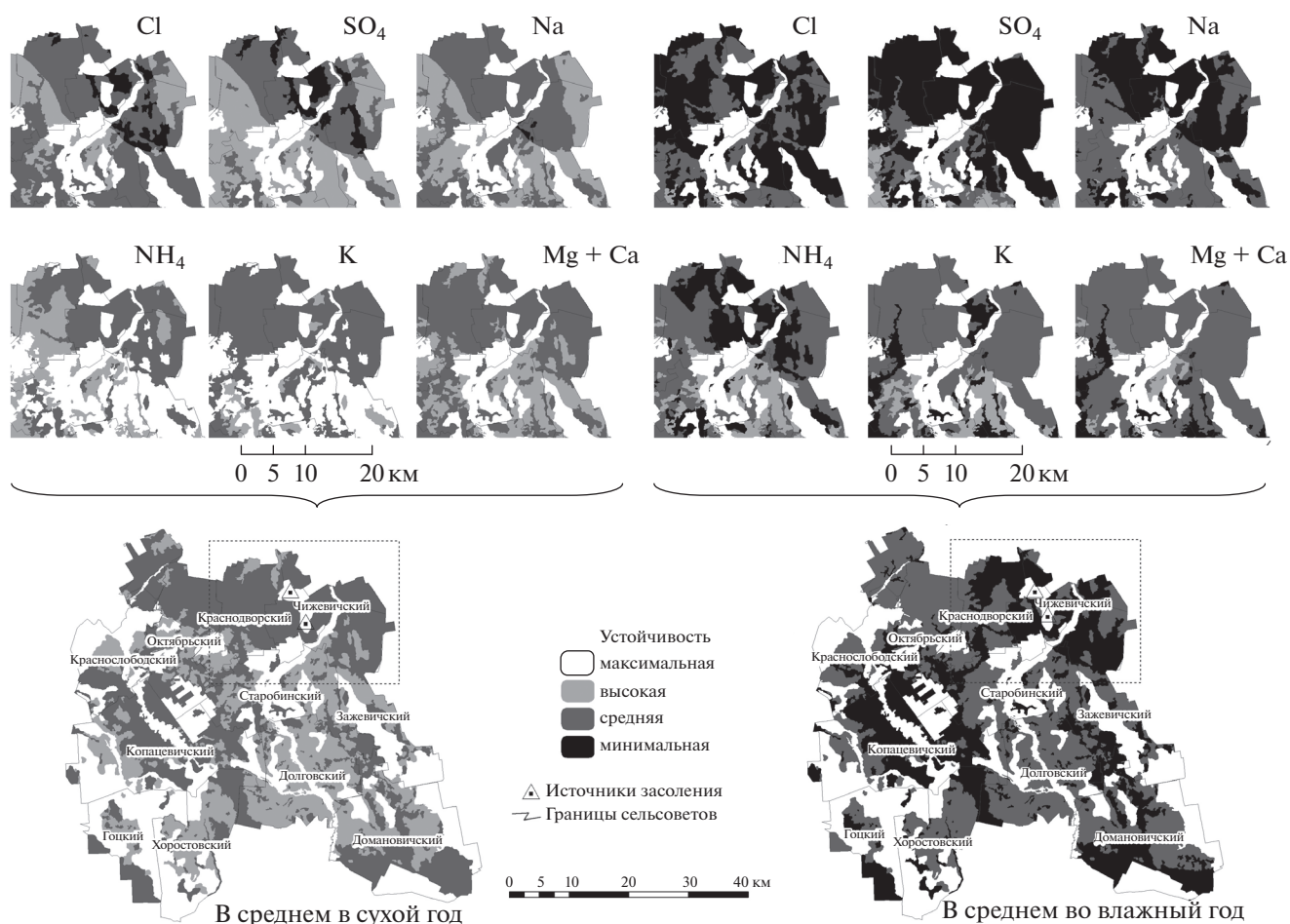


Рис. 4. Пространственно-временные модели техногенного засоления почв на основе геосистемного анализа данных фактического засоления.

В гумусово-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах минеральных почв выполнена оценка агрофизических свойств и агрохимических показателей не менее чем в пяти профилях в каждой заложённой катене. Отбор и анализ образцов почвы по катенам позволил пространственно учесть факторы деградации почв: водную и ветровую эрозию, переувлажнение, вероятное засоление.

Закономерности миграции водорастворимых форм элементов в почвенном покрове как пространственная основа моделирования техногенного воздействия. Пространственно-временные модели изменения основных агрономически ценных свойств почв находятся в прямой зависимости от содержания водорастворимых загрязняющих веществ почв и почвенно-грунтовых вод. Компонентный состав загрязняющих веществ зависит от расстояния от источника загрязнения и глубины отбора образцов. Анализ катионно-анионного состава почв показал, что загрязнение почв происходит в результате выбросов предприятий или в результате проникновения в почву рассолов. Миграция водорастворимых загрязняющих соеди-

нений в почвах обусловлена внутрипочвенным латеральным стоком влаги. Установлено, что по мере удаления от предприятий рудопереработки концентрация этих элементов в почве заметно снижается. Однако практически все прилегающие к перерабатывающим комбинатам земли находятся в интенсивном сельскохозяйственном использовании, где применяются различные мелиоранты, минеральные и органические удобрения, микроудобрения, которые также влияют на катионный и анионный состав почвенного раствора.

Отмечены сезонные изменения содержания ионов натрия и хлоридов в почвах исследуемого района. Дымовые выбросы обогатительных фабрик загрязняют почвы хлором и натрием в меньшей степени, чем рассолы, но на значительно большей территории. Более сильному загрязнению подвергается верхний слой пахотного горизонта, в котором аккумулируется максимальное количество выпавших солей. Проведенные исследования показывают, что концентрации хлоридов в почвенных образцах, отобранных весной в среднем в 1.3 раза выше, чем в образцах летнего

Таблица 2. Соотношение содержания ионов в пахотном и подпахотном горизонтах почвы и среднее значение содержания водорастворимой формы элемента (фрагмент)

Геосис- тема	Соотношение в пахотном и подпахотном горизонтах, (мг/кг)/(мг/кг)				Среднее содержание водорастворимой формы, мг/кг				Катена, номер
	ион	часть склона			ион	часть склона			
		верхняя	средняя	нижняя		верхняя	средняя	нижняя	
1213	Cl ⁻	0.48	1.20	0.88	Cl ⁻	2.43	1.80	1.51	1.1
	SO ₄ ²⁻	0.85	0.92	0.11	SO ₄ ²⁻	2.77	0.48	2.89	
	Na ⁺	0.60	1.60	0.89	Na ⁺	1.89	1.12	0.87	
	NH ₄ ⁺	1.02	1.22	0.90	NH ₄ ⁺	0.91	0.72	0.60	
	K ⁺	1.10	0.88	0.85	K ⁺	31.37	40.48	45.79	
	Mg ²⁺	0.72	0.89	0.79	Mg ²⁺	2.13	3.58	4.33	
	Ca ²⁺	0.67	1.01	0.79	Ca ²⁺	5.62	9.14	10.70	
1222	Cl ⁻	0.87	1.24	Нет данных	Cl ⁻	2.01	4.05	Нет данных	
	SO ₄ ²⁻	1.21	0.98	»	SO ₄ ²⁻	4.70	7.57	»	
	Na ⁺	0.83	0.85	»	Na ⁺	1.03	2.25	»	
	NH ₄ ⁺	0.70	1.13	»	NH ₄ ⁺	0.85	0.99	»	
	K ⁺	1.01	1.25	»	K ⁺	41.45	37.13	»	
	Mg ²⁺	0.92	1.06	»	Mg ²⁺	4.48	8.05	»	
	Ca ²⁺	1.08	1.07	»	Ca ²⁺	10.62	16.92	»	
1313	Cl ⁻	0.96	1.53	»	Cl ⁻	2.75	1.38	»	1.2
	SO ₄ ²⁻	1.06	1.92	»	SO ₄ ²⁻	3.33	2.66	»	
	Na ⁺	0.96	1.28	»	Na ⁺	1.89	1.19	»	
	NH ₄ ⁺	1.01	1.32	»	NH ₄ ⁺	0.68	0.72	»	
	K ⁺	1.02	0.97	»	K ⁺	21.31	29.79	»	
	Mg ²⁺	1.11	1.01	»	Mg ²⁺	2.78	3.66	»	
	Ca ²⁺	1.09	0.97	»	Ca ²⁺	6.82	8.58	»	
1212	Cl ⁻	0.87	0.87	0.82	Cl ⁻	1.87	2.63	1.50	
	SO ₄ ²⁻	5.45	1.09	0.22	SO ₄ ²⁻	1.94	4.04	20.81	
	Na ⁺	0.52	0.86	0.59	Na ⁺	1.89	1.13	1.13	
	NH ₄ ⁺	0.39	1.17	0.96	NH ₄ ⁺	0.92	0.96	0.68	
	K ⁺	0.84	1.14	0.87	K ⁺	27.84	50.93	39.41	
	Mg ²⁺	1.62	0.94	0.63	Mg ²⁺	3.34	2.25	1.95	
	Ca ²⁺	0.92	0.92	0.83	Ca ²⁺	10.96	10.34	8.52	
1212	Cl ⁻	1.05	2.00	0.96	Cl ⁻	2.10	1.58	1.38	1.3
	SO ₄ ²⁻	1.25	0.38	0.96	SO ₄ ²⁻	3.83	1.28	3.48	
	Na ⁺	0.73	1.41	0.78	Na ⁺	1.88	1.78	1.79	
	NH ₄ ⁺	0.55	2.43	0.98	NH ₄ ⁺	1.78	1.12	0.97	
	K ⁺	1.17	1.47	0.84	K ⁺	36.24	26.71	45.66	
	Mg ²⁺	0.69	1.58	1.31	Mg ²⁺	4.33	4.34	2.78	
	Ca ²⁺	0.80	1.75	1.27	Ca ²⁺	16.35	14.50	9.59	

отбора, и в 2–4.8 раза выше, чем в образцах осеннего отбора. В летне-осенний период количество солей в пахотном горизонте значительно ниже. Это, главным образом, зависит от количества осадков и наличия растительности. В весенний период, когда почва еще лишена растительного покрова, осевшие из атмосферы производственные осадки накапливаются в верхних горизонтах.

На повышенное содержание загрязняющих веществ в весенний период также влияет и тот факт, что за осенне-зимний период в снежном покрове накапливается значительное количество выбросов предприятий обогатительных фабрик. В дальнейшем, при интенсивном таянии снегов и переносе взвешенных частиц дымовых выбросов непосредственно на поверхность почвы даже хорошо растворимые соли, такие как хлориды, не успевают мигрировать за пределы пахотного горизонта и накапливаются в нем.

Летом производственные выбросы задерживаются растениями, и загрязняющие вещества попадают на почву в значительно меньшем количестве. При этом различные культуры в неодинаковой степени удерживают пыль, что обусловлено величиной и характером листовой поверхности, густотой посевов, общим состоянием сельскохозяйственных культур. Полученные данные свидетельствуют о высокой миграционной способности хлоридов и ионов натрия в профиле почв и о том, что поступление этих элементов вниз по профилю почвы носит переменный характер.

Систематизация и обобщение аналитических данных пробоотбора позволили разработать градации по степени загрязнения почв загрязняющими элементами. В табл. 2 представлен фрагмент исходных данных для моделирования пространственно-временного изменения основных химических элементов в почве, которые могут выступать в качестве загрязняющих элементов.

Модели пространственно-временного распределения загрязняющих веществ в почвенном покрове исследуемой территории (рис. 4) разработаны с учетом фактического содержания основных водорастворимых форм элементов в пахотном и подпахотном горизонтах почвы и геосистемной инвентаризации структуры почвенного покрова по ПК. В разрезе административно-территориальных единиц – сельсоветов – получены качественные различия устойчивости почвенного покрова к техногенному засолению в разных метеорологических условиях. Это позволяет территориально локализовать меры по предотвращению загрязнения почв, в том числе техногенного засоления почвенного покрова и поверхностных вод.

Среди технологических приемов снижения фитотоксичности Na и Cl при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях техногенного засоления земель следует отметить под-

бор сельскохозяйственных культур, толерантных к засолению и оптимизацию системы удобрения зерновых культур. Качественная оценка степени техногенного засоления, интерполированная по границам ПК, дает основание для дифференцированного применения систем удобрения и формирования типов севооборота из толерантных к засолению сельскохозяйственных культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные принципы и методика пространственной идентификации ПК подтверждают возможность их использования в качестве операциональных единиц учета техногенного воздействия на почвенный покров.

На примере Солигорского горнопромышленного района представлены приемы качественной интерполяции данных агрохимического состояния почв и формирования пространственно-временных моделей риска техногенного засоления почв на основе природной устойчивости ПК.

Внедрение практики адаптивно-ландшафтного земледелия в границах Солигорского горнопромышленного района возможно на основе использования результатов пространственного геосистемного анализа техногенного засоления, с одной стороны, и эффективной локализации предлагаемых мер по лимитированию негативного техногенного воздействия в границах типов земель сельскохозяйственных предприятий.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены в рамках реализации регионального плана действий Евразийского почвенного партнерства (программа малых грантов) Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) по договору от 20.09.2016 г. № GCP/GLO/650/RUS и в рамках научного проекта БРФФИ № Б17PM-061 от 01 июня 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаренок Т.Н.* Агрогенная трансформация почв и почвенного покрова осушенных земель Солигорского района Беларуси // Почвоведение и агрохимия. 2007. № 1(38). С. 70–77.
2. *Глазовская М.А.* Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 1. С. 134–139.
3. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 107 с.
4. *Головатый С.Е., Ковалевич З.С., Лукашенко Н.К.* Возделывание сельскохозяйственных культур в условиях хлоридно-натриевого загрязнения почв.

- Минск: РУП Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. 28 с.
5. Инструкция 2.1.5.11-10-199-2003. Обоснование гигиенических нормативов химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования // Сб. санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. Минск, 2003. С. 120–167.
 6. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием // Деградации земель. Ратифицирована в Республике Беларусь Указом Президента Республики Беларусь от 17.07.2001 г. № 393.
 7. Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С. Почвенное разнообразие и его значение в контексте современной географии почв // Почвоведение. 2018. № 1. С. 3–16. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010014>
 8. Номенклатурный список почв Беларуси (для целей крупномасштабного картографирования). Минск, 2002. 19 с. (Утв. Приказом Комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь от 21.05.2002 г. № 82).
 9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Москва, 1999. 610 с.
 10. Положение о порядке исчисления размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и составления акта об установлении факта причинения вреда окружающей среде. Минск, 2008. (Утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.07.2008 г. № 1042).
 11. Романова Т.А., Червань А.Н., Андреева В.Л. Теоретические основы и практическая значимость исследований структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2011. № 3. С. 300–310.
 12. Романова Т.А., Черныш А.Ф., Червань А.Н., Радюк А.Э. Агроэкологическая составляющая потенциала почвенно-земельных ресурсов // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2(45). С. 40–49.
 13. Сивенков А.Ю. Анализ экзодинамических процессов в солееотвальных комплексах Солигорского горнопромышленного района на основе космической информации // Вестник БГУ. Сер. 2. 2016. № 1. С. 81–86.
 14. Смян Н.И., Цытрон Г.С., Шибут Л.И., Бубен И.И. Почвенный очерк Солигорского района Минской области. Минск: Белгипрозем, 2003. 19 с.
 15. Хомич В.С., Савченко С.В., Романкевич Ю.А., Парфёнов В.В., Бакарикова Ж.В., Шпак Е.Г., Ереско М.А., Богдевич И.М. Земельные ресурсы и почвы // Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень. 2013. С. 201–229.
 16. Червань А.Н., Нарожняя А.Г. Технология проведения геосистемного анализа для территориального планирования природопользования // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25855> (дата обращения: 31.08.2018).
 17. Червань А.Н., Романова Т.А., Лисецкий Ф.Н., Нарожняя А.Г. Геосистемный подход к организации природопользования в переувлажненных агроландшафтах (на примере СПК “Ловжанский” Витебской области Беларуси) // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Естественные науки. 2016. № 25(239). Вып. 37. С. 143–155.
 18. Червань А.Н. Картометрический анализ почвенных комбинаций для целей территориального планирования, в том числе противозерозионной организации территории // Экологические аспекты эрозийных и русловых процессов. М., 2016. С. 19–27.
 19. Batjes N.H. Harmonized soil profile data for applications at global and continental scales: updates to the WISE database. Soil Use and Management, 2009. 25. P. 124–127.
 20. Engelen V.W.P. van, Dijkshoorn J.A. (eds.). Global and National Soils and Terrain Databases (SOTER). Procedures Manual. Vers. 2.0. ISRIC World Soil Information. Wageningen, 2013. 198 p.

The Spatial Mapping of Soil Stability to Human Impact in the Soligorsk Mining Region on the Basis of Soil Combinations

A. N. Chervan^{a,*} and S. S. Ramanenka^a

^aInstitute for Soil Science and Agrochemistry, ul. Kazintsa 90, Minsk, 220108 Belarus

*e-mail: chervanalex@mail.ru

According to the theory of soil cover patterns, soil combinations represent territorial units that can be used for assessing the degree of technogenic impact on soils of agricultural lands in the Soligorsk mining region of the Republic of Belarus. According to the results of a geosystem inventory of soil cover patterns, typical soil combinations in this area consist of soddy-podzolic soils (Retisols), gleyed soddy-podzolic soils (Gleysols), and low-moor peat soils (Histosols). These soils are subjected to different degrees of salinization and technogenic chemical impact. The systemic account of the state of the soil cover is based on the informative nature of soil combinations as natural systems, spatial units of zoning, and land typology. The parametrization of the main characteristics of soil combinations is presented with the prospects for semiautomatic and automatic recording and monitoring of their status in order to justify the strategy of expedient land use under conditions of technogenic salinization. The factors of redistribution of chemical pollutants in representative soil combinations are taken into account with the use of the tools of geoinformation systems. A spatial basis for optimizing agricultural land use in the form of spatiotemporal models of soil tolerance towards technogenic salinization is suggested.

Keywords: soil salinization, agrolandscape, geosystem, soil cover pattern, soil degradation, geoinformation systems