

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 581.9

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПАНСИИ ИНВАЗИВНЫХ
ВИДОВ ЗОЛОТАРНИКА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2021 г. И. Ю. Савин^{a, b, *}, Е. А. Шишконокова^a

^aПочвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия

^bРоссийский университет дружбы народов, экологический факультет, Москва, Россия

*e-mail: savin_iyu@esoil.ru

Поступила в редакцию 19.05.2020 г.

После доработки 07.02.2021 г.

Принята к публикации 02.03.2021 г.

Стагнация сельскохозяйственной отрасли России на протяжении последних десятилетий в ряде регионов привела к прогрессирующему росту площадей забрасываемых земель. Во многих областях Северной Евразии на залежных землях происходит внедрение инвазивных видов, вносящих определенные коррективы в сукцессионные процессы, характерные для региональных ландшафтов. С использованием архива спутниковых данных *Landsat* проведен анализ многолетней динамики ареалов инвазивных видов золотарника на землях в центре европейской части России. Установлено, что во многих случаях ареалы золотарника концентрируются вдоль границ между административными районами, что связано со спецификой аграрной активности и забрасывания пахотных земель. На географию золотарника влияют и особенности почвенного покрова территории. Подтверждено, что наибольший прирост площадей, занятых видами золотарника на территории исследований, произошел с 2006 по 2011 г., что может быть связано как с сукцессионными процессами, так и с повышением уровня плодородия заброшенных пашен, а также с климатическими изменениями, которые создали в последние годы для экспансии золотарника более благоприятные условия.

Ключевые слова: род *Solidago*, инвазивные виды, бассейн Оки, *Landsat*, заброшенные земли, динамика растительности

DOI: 10.31857/S2587556621030134

ВВЕДЕНИЕ

Стагнация сельскохозяйственной отрасли в некоторых регионах России привела к прогрессирующему росту площадей забрасываемых земель. В лесной зоне европейской части России на подобных участках развиваются вторичные сукцессии, приводящие к восстановлению луговой, а по прошествии десятилетий — и лесной растительности (Люри и др., 2010). В то же время во многих областях Северной Евразии на залежных и соседних с ними землях происходит внедрение инвазивных видов, вносящих определенные коррективы в сукцессионные процессы, характерные для региональных ландшафтов. К таким растениям относятся и североамериканские виды рода *Solidago* — *S. altissima* L., *S. canadensis* L., *S. gigantea* Ait, а последние два золотарника отмечены в большинстве районов Средней России, на юге Сибири и Дальнего Востока (Гамова и др., 2018; Конспект..., 2012; Маевский, 2014). Являясь исключительно агрессивными видами-трансформерами, они внесены в ряд региональных спис-

ков как особо опасные инвазивные растения, а в таких странах, как Белоруссия и Китай, запрещены к выращиванию в культуре (Брагинец, Журсиналина, 2018; Виноградова и др., 2010; Черная..., 2016). В монографии “Самые опасные инвазивные виды России (ТОП-100)” (2018) указанным видам присвоен статус видов инвазивных по полустественным и естественным местообитаниям в центральной части Европейской России, причем *S. gigantea* специально отмечается в качестве одного из наиболее агрессивных инвазивных растений.

Особый размах инвазии североамериканских золотарников приобрели в последние два десятилетия (Виноградова и др., 2010; Гусев, 2017; Панасенко и др., 2018; Уфимцев, 2018; Шмелев, Панкрушина, 2019). Несмотря на внимание и интерес к инвазиям видов *Solidago* в последние годы, работ по картированию, адекватных масштабам этого явления на территории европейской части России, практически не проводится. Исключением является работа Н.Н. Панасенко с

соавторами (2018) для Брянской области, проведенная на основе наземных геоботанических исследований, в том числе и методом картографирования на сеточной основе.

В то же время полномасштабное картирование распространения инвазивных видов *Solidago* на фоне общей ситуации будет способствовать целям мониторинга как залежных, так и соседствующих с ними земель, исследованию протекания на них сукцессионных процессов. Прогрессирующее разрастание золотарников также может служить в качестве индикатора синантропизации сообществ.

В статье представлены результаты анализа распространения и экспансии североамериканских видов *Solidago* в среднем течении р. Оки — на территории сопредельных районов, расположенных на севере Тульской, юге Московской, западе Калужской областей с использованием архива спутниковых данных *Landsat*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Североамериканские виды рода *Solidago* — серьезные инвазивные заростатели нарушенных мезофитных местообитаний. Наибольшее распространение в средней полосе европейской части России получили *Solidago canadensis* L. и *S. gigantea* Ait. — гемикриптофиты до 2 м высотой, формирующие плотные одновидовые травостои. Так, заросли *S. canadensis* имеют плотность более 300 побегов на 1 м², отдельные клоны растения могут жить до 100 лет (Гусев, 2017; Шмелев, Панкрушина, 2019). Из этих двух близких видов *S. gigantea* встречается реже (Мининзон, Тростина, 2018; Панасенко и др., 2018). По сравнению с *S. canadensis* он характеризуется более низкими темпами семенного размножения, в то же время скорость захвата новых территорий за счет вегетативного размножения у имеющего более длинные корневища *S. gigantea* выше, чем у *S. canadensis* (Weber, Jakob, 2005).

Североамериканские *Solidago* характеризуются высокой семенной продуктивностью и высокой всхожестью свежесобранных семян, которые достаточно успешно формируют почвенный банк в различных типах местообитаний (Колдмова, 2018; Kundel et al., 2014).

Фенология *S. canadensis* и *S. gigantea* описана в ряде работ (Виноградова, Куклина, 2016; Панасенко и др., 2018; Шмелев, Панкрушина, 2019). Пик цветения приходится на август—середину сентября, когда оно определяет золотисто-желтый аспект местообитаний, где вид доминирует. По данным Ю.К. Виноградовой, А.Г. Куклиной (2016), *S. gigantea* в Средней России зацветает в середине июля вслед за *S. canadensis*, отставая на 1—

1.5 нед., и цветет несколько дольше — до середины октября.

Инвазивные виды рода *Solidago* встречаются в различных нарушенных местообитаниях — обычно там, где ранее происходило механическое повреждение поверхностного покрова — на пашнях, огородах, лугах, пустырях, свалках, карьерах, вырубках, садах, опушках, поймах рек, вдоль транспортных коридоров и т.п. (Булохов, Садик, 2015). Главными источниками заноса диаспор на привлекающие территории являются старые усадьбы, приусадебные участки и кладбища, где золотарник используется в качестве декоративного растения (Дайнеко и др., 2017). Н.Н. Панасенко с соавторами (2018) обратили внимание на то, что в луговых сообществах подселение североамериканских *Solidago* нередко приурочено к участкам с нарушенной дерниной (кротовины, муравейники, эрозионные промоины и обнажения, тропинки). Реже происходит внедрение в естественные ненарушенные местообитания. Как сегетальные растения на сельскохозяйственных землях виды золотарника не приживаются в условиях систематической распахки, поэтому расширение их инвазии часто связано с выводом земель из активного землепользования.

Для фитоценозов с доминированием *S. canadensis* оптимальны сухие и средневлажные, нейтральные и слабощелочные, хорошо обеспеченные минеральным азотом суглинистые почвы. Сообщества с доминированием *S. gigantea* тяготеют к местообитаниям с более высокой влажностью и трофностью почвы (Арепьева, Куликова, 2017; Булохов и др., 2017; Виноградова и др., 2010).

Развитие одновидовых сообществ золотарников происходит довольно быстро (Дайнеко и др., 2017; Панасенко и др., 2018). Появившиеся на заброшенных участках инвазивные золотарники создают монодоминантные ценозы с общим проективным покрытием до 80–100% за период от 2–3 до 4–6 лет (Булохов и др., 2017; Панасенко и др., 2018).

Наземные работы проводились в июне–сентябре 2011 г. в Венёвском, Ленинском, Щёкинском и Ясногорском районах Тульской области на участках заброшенной пашни с преобладанием пахотных серых лесных почв и оподзоленных черноземов. Исследовались залежи, на которых формируются одновидовые или маловидовые заросли *Solidago*. При этом подбирались участки с выраженным доминированием золотарника площадью более 100 × 100 м. Их координаты определялись по GPS и затем фиксировались на tmGoogle Earth. Всего было выявлено 25 участков (рис. 1).

После этого был проведен анализ изображения ареалов с золотарником на сцене спутниковых данных *Landsat 5 TM*, полученной в год проведения полевых работ (в период цветения инва-

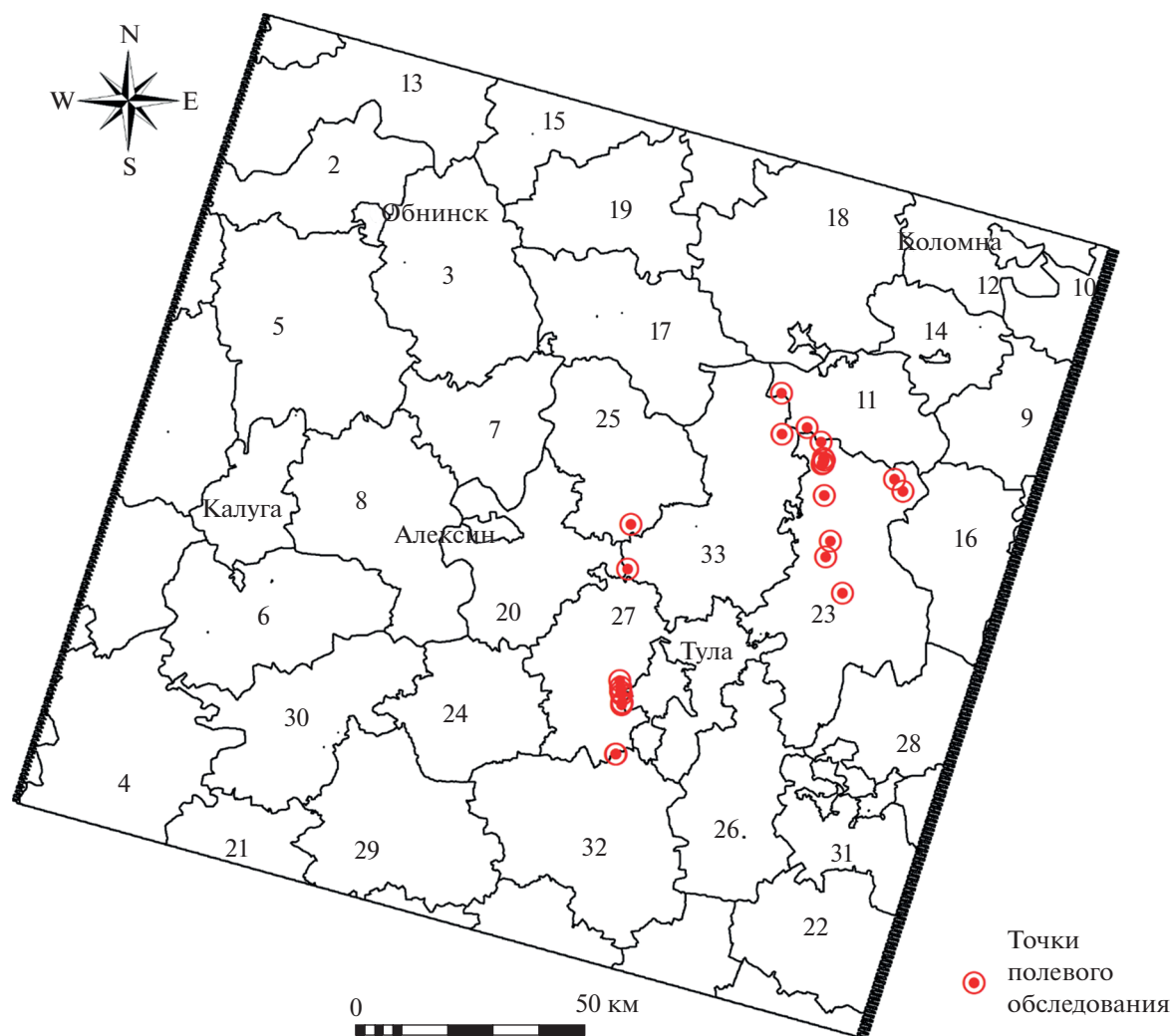


Рис. 1. Точки полевого обследования в Венёвском, Ленинском, Щёкинском и Ясногорском районах Тульской области, июнь–сентябрь 2011 г. (нумерация районов соответствует табл. 4).

живных видов *Solidago*). Использовалась одна сцена *Landsat 5 TM*, полученная 27 августа 2011 г., прошедшая атмосферную коррекцию и маскирование облачности.

Спутниковые данные *Landsat 5 TM* имеют пространственное разрешение 30 м. Они доступны в 7 каналах съемки видимого и инфракрасного диапазонов спектра электромагнитных волн с периодичностью раз в 15 дней за период с 1984 по 2011 г. (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/>).

Для всех пикселей в пределах ареалов золотарника (всего 643 пикселя) были определены коэффициенты отражения во всех основных каналах сцены *Landsat 5 TM*. После этого весь массив пикселей сцены *Landsat 5 TM* с золотарником был разбит случайным образом на 2 части. Одна часть (420 пикселей) использовалась для выявления специфики отражения ареалов золотарника в разных каналах съемки *Landsat* (обучающая вы-

борка), а вторая часть (223 пикселя) использовалась для оценки качества установленных закономерностей (проверочная выборка). Качество оценивалось по принадлежности пикселей оценочной выборки интервалам отражения, установленным по данным обучающей выборки.

Для каждого канала съемки на основе обучающей выборки пикселей были установлены статистически достоверные диапазоны коэффициентов отражения, соответствующие пикселям с золотарником, и с использованием этих диапазонов была проведена кластеризация каналов на два класса: золотарник и другие объекты наземного покрова.

Затем результаты классификации каждого канала пересекались друг с другом. И анализ результатов пересечения (логическая операция AND) позволил выделить класс “золотарник” для тех пикселей, которые во всех каналах съемки

Таблица 1. Сопоставимость изображений *Landsat 5 TM*, полученных в разные годы

Тестовая точка	Год	Канал <i>Landsat 5 TM</i> , коэффициент отражения					
		1	2	3	4	5	7
1	1991	0.111	0.147	0.146	0.261	0.268	0.205
	1994	0.112	0.148	0.148	0.263	0.270	0.208
	2006	0.115	0.148	0.149	0.264	0.271	0.211
	2011	0.113	0.146	0.148	0.265	0.269	0.208
2	1991	0.132	0.177	0.192	0.316	0.325	0.229
	1994	0.131	0.175	0.193	0.317	0.325	0.238
	2006	0.133	0.177	0.193	0.318	0.326	0.238
	2011	0.130	0.174	0.191	0.317	0.324	0.237
3	1991	0.157	0.240	0.248	0.282	0.310	0.296
	1994	0.159	0.239	0.249	0.281	0.312	0.299
	2006	0.158	0.239	0.250	0.282	0.312	0.298
	2011	0.161	0.241	0.251	0.283	0.311	0.302

классифицировались как “золотарник”. Таким образом, была получена карта распространения ареалов золотарника на территории исследований в 2011 г. Ее качество (точность) было оценено по данным проверочной выборки пикселей с золотарником.

После этого был проанализирован архив изображений *Landsat* на территории исследований за весь период работы сенсора (с 1984 по 2011 г.). Осуществлялся поиск безоблачных изображений, полученных в августе (период цветения золотарника в регионе исследований).

Удалось обнаружить лишь 3 дополнительных изображения: за 1991 (5 августа), 1994 (22 августа) и 2006 (13 августа) гг. Все эти изображения также прошли атмосферную коррекцию. После этого был проведен анализ их сопоставимости между собой. Для этого на территории исследований было установлено 3 объекта с достаточно большим асфальтовым покрытием. Для них были определены величины отражения во всех основных каналах *Landsat 5 TM*. Сопоставление этих данных между собой показало, что величина отражения объектов во всех каналах достаточно стабильна (табл. 1), что является хорошей осно-

вой для корректной сопоставимости изображений, полученных в разные годы.

Затем изображение каждого года было подвергнуто такому же анализу, как и изображение 2011 г. (поканальной классификации на основе граничных значений, полученных для 2011 г. с последующим пересечением результатов классификации для каждого канала).

В результате были построены карты распространения золотарника для 1991, 1994 и 2006 гг. Пересечение этих карт и карты 2011 г. позволило построить карту изменений распространения видов *Solidago* с 1991 по 2011 г.

Все работы по детектированию контуров с преобладанием золотарника по изображениям *Landsat 5 TM* были проведены с использованием пакета ГИС ILWIS v.3.31 (<https://www.itc.nl/ilwis/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ коэффициентов отражения в разных каналах *Landsat 5 TM* позволяет выявить спектральный облик растительных ассоциаций с преобладанием золотарника в период его цветения (рис. 2).

Результаты проверки выявленных закономерностей в спектральном облике с использованием независимой выборки представлены в табл. 2.

Из материалов таблицы следует, что выявленные закономерности отражения золотарника в фазе цветения достаточно надежны для его детектирования по данным *Landsat* (точность детектирования превышает 92% в любом из каналов съемки).

На рис. 3 и 4 (фрагмент в увеличенном виде) представлены в генерализованном виде результа-

Таблица 2. Оценка точности детектирования пикселей с преобладанием золотарника в разных каналах съемки

Показатель	Канал съемки <i>Landsat 5 TM</i>					
	1	2	3	4	5	7
Доля пикселей с золотарником, отражение которых попало в доверительный интервал, %	98	96	96	93	92	95

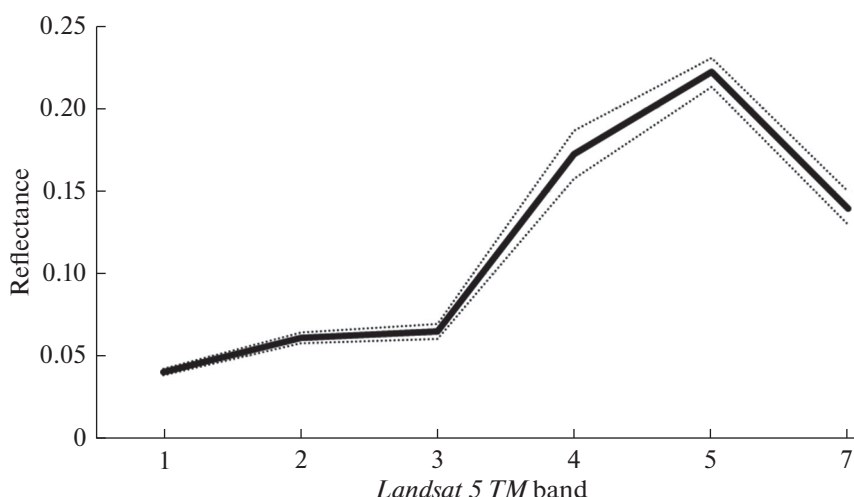


Рис. 2. Спектральный облик растительных ассоциаций с преобладанием золотарника на сцене *Landsat 5 TM* (сплошная линия — среднее значение, пунктирные линии — доверительный интервал с $p = 0.05$).

ты детектирования пикселей с ареалами золотарника по изображениям *Landsat*.

В табл. 3 приведены сведения о доли контуров с золотарником в площади административных районов на территории исследований.

С использованием изложенных выше подходов подобная информация была получена для 1991, 1994 и 2006 гг. После совмещения карт распространения золотарника для всех этих лет и 2011 г. была построена карта изменений ареалов золотарника по этим годам (см. рис. 3, 4).

В разрезе административных районов нарастание площадей под золотарником представлено в табл. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Распространение инвазивных видов *Solidago* по территории исследований является неравномерным (см. рис. 3). На основе полевых обследований было установлено, что золотарник преобладает там, где больше залежных земель. Зброшенность пашни на данной территории часто была связана с удаленностью пахотных участков от крупных населенных пунктов. Поэтому во многих местах ареалы *Solidago* концентрируются вдоль границ административных районов, где доля заброшенной пашни как правило выше, чем в центральной части районов (Агроэкологическое..., 2008). Подобные участки на рис. 3 отмечены синими овалами. Геоэстатистический анализ распространения пикселей с золотарником на территории исследований показал, что на расстоянии до 6 км от границ административных районов 5–6% всех пикселей занято золотарником, а на удалении более 10 км пикселей с золотарником в 3 раза меньше (рис. 5).

Наибольшие площади с ассоциациями инвазивных *Solidago* отмечены в Тульской области — в среднем 8030.0 га на район, ниже этот показатель в Московской области — 5049.6 га на район, наименьший в Калужской области — 1565.6 га на район. Если рассматривать такой показатель, как процент площади, занимаемой сообществами видов *Solidago*, от общей площади района, то обращает на себя внимание разница между распространением инвазивных видов золотарника в районах, относящихся к лесной зоне, и в районах, входящих в лесостепную зону. Так, в Калужской области золотарник занимает в среднем в 2.6 раза большие площади в районах, относящихся к лесостепной зоне — Бабынинском, Козельском, Перемышльском, Тарусском, Ферзиковском. Сходная ситуация наблюдается и в Московской области: южные районы — Серебряно-Прудский (лесостепной) и примыкающие к нему Зарайский, Каширский, Луховицкий — в 3.7 раза превосходят по масштабам инвазии золотарников районы, расположенные севернее и западнее (Коломенский, Наро-Фоминский, Озерский, Подольский, Серпуховский, Ступинский, Чеховский). Это может быть объяснено более благоприятными почвенно-климатическими факторами, а также увеличением площадей ранее распаханых угодий. Распространенность золотарника связана и со спецификой преобладающих почв и их плодородием. По данным табл. 3, площадь, занимаемая инвазивными видами *Solidago*, больше в районах с плодородными тяжелосуглинистыми почвами (в частности, серыми лесными и черноземами).

Распространение инвазивных золотарников по районам Тульской области обусловлено следующими причинами. Наиболее низкие показатели присутствия североамериканских *Solidago* харак-

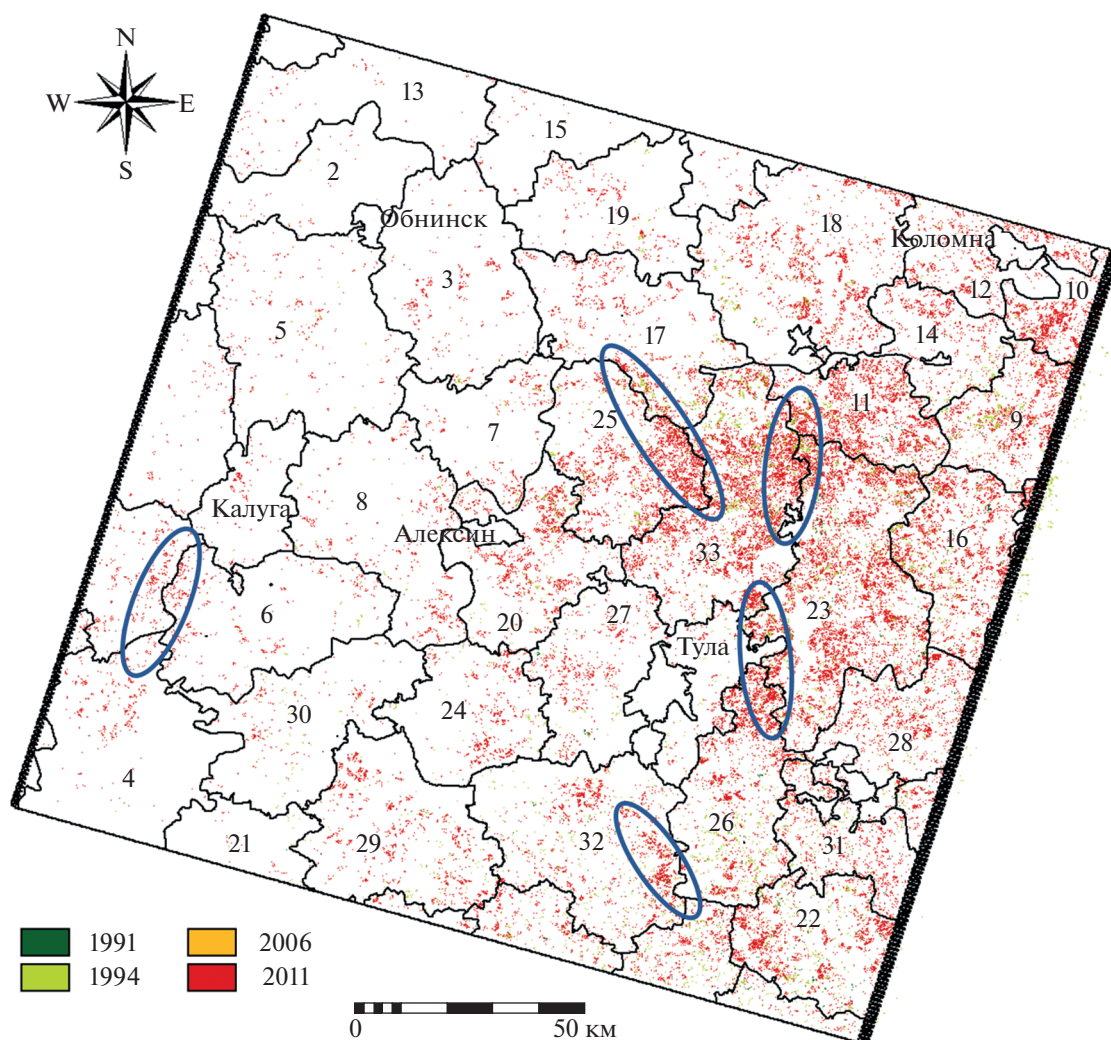


Рис. 3. Результат детектирования пикселей с золотарником (цветом показан год появления золотарника; черные линии — границы административных районов, нумерация районов соответствует табл. 4, синие овалы указывают на места повышенной концентрации золотарника).

терны для самых западных — Алексинского, Белёвского, Одоевского, Суворовского районов, характеризующихся почвенным покровом с участием сравнительно малоплодородных дерново-подзолистых почв. Для оставшихся районов значительной разницы между принадлежностью к лесной или лесостепной зонам не выявлено. В то же время распространение золотарника относительно невелико на регулярно распаханых участках с распространением черноземов, находящихся южнее г. Тулы (Щёкинский район) и ее окрестностей. При этом территории с серыми лесными почвами, сконцентрированные преимущественно на севере области, отличаются значительными массивами заброшенных земель и хорошо детектируются с помощью сообществ с золотарником, занимающим здесь максимальные площади.

Анализ изображений *Landsat* за прошлые годы показал, что ареалы золотарника присутствовали на территории исследований и в 1991 г., но они не занимали больших площадей. Площади немного возросли к 1994 г., а наибольший прирост площадей пришелся на период с 2006 по 2011 г. В этот период во многих районах и появилась большая часть (80–90%) растительных ассоциаций с преобладанием золотарника (см. табл. 4). Подобный быстрый рост площадей подтверждает закономерности, ранее установленные исследователями динамики распространения рассматриваемых инвазивных видов (Булохов, Садик, 2015; Гусев, 2017; Пешанская, 2012; Уфимцев, 2018). Следует отметить влияние и таких факторов, как постепенное повышение уровня плодородия заброшенных почв (Агроэкологическое..., 2008), способствующее расселению золотарника, а также связь с наблюдаемыми изменениями климата

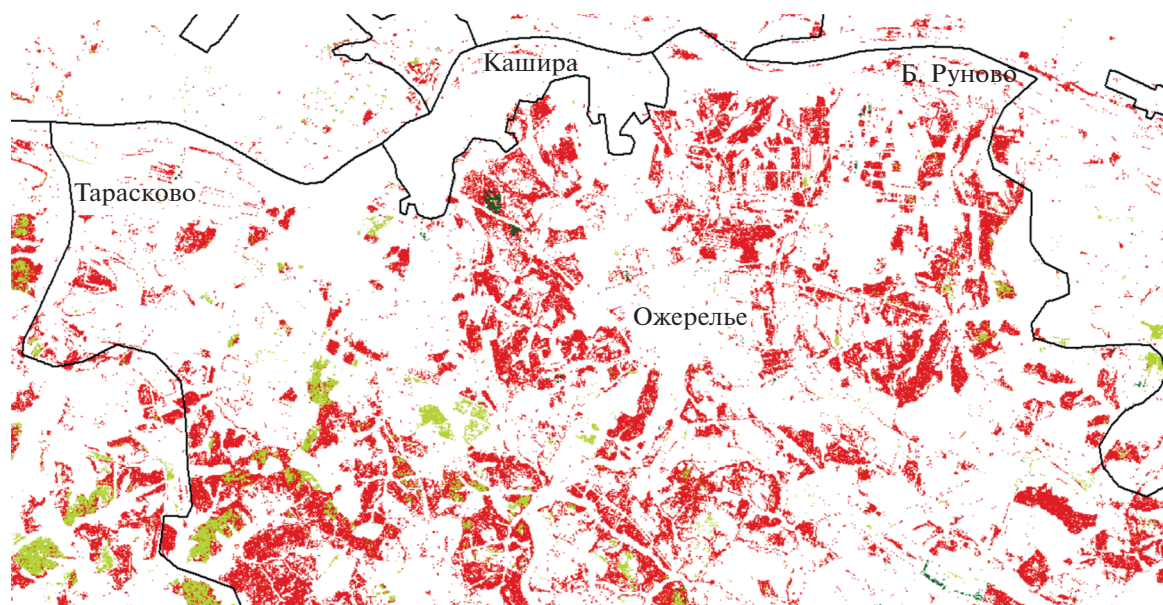


Рис. 4. Фрагмент карты распространения золотарника для северной половины Каширского района Московской области (цветом показан год появления золотарника, см. легенду на рис. 3; черные линии – границы административных районов).

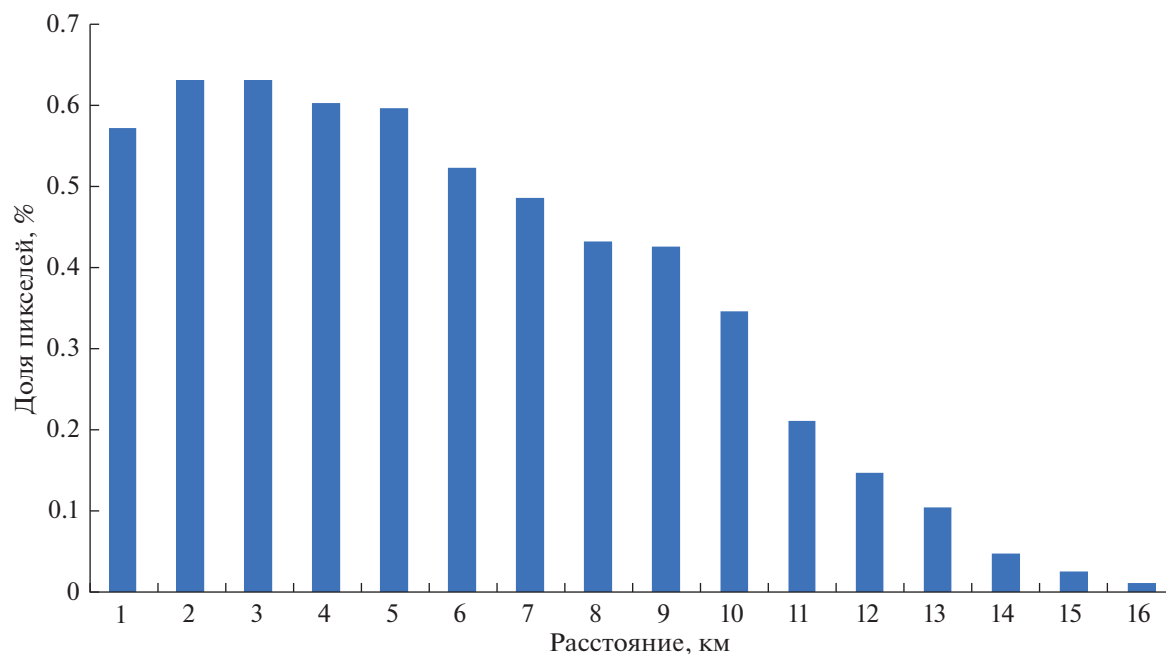


Рис. 5. Доля пикселей с золотарником от общего количества пикселей на разном удалении от административных границ.

(Глобальный..., 2019), который в последние годы на территории исследований стал более благоприятен для североамериканских видов *Solidago* (теплые зимы, большая влажность воздуха и увеличившееся количество атмосферных осадков).

Полученные результаты можно рассматривать лишь как приблизительную оценку простран-

ственных аспектов существующей тенденции распространения золотарника. На точность оценок влияет относительно небольшое пространственное разрешение использованных спутниковых данных, составляющее 30 м на местности. Ареалы золотарника размерами менее 90 м² или вытянутые ареалы шириной менее 30 м могли

Таблица 3. Площадь растительных ассоциаций с преобладанием золотарника на территории исследований

Регион	Площадь, га	Доля в общей площади, %	Специфика преобладающих почв
Калужская область			
Бабынинский	1779	3.15	Низкоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Боровский	242	0.33	Низкоплодородные суглинистые почвы
Жуковский	1601	1.27	Среднеплодородные суглинистые почвы
Козельский	1585	1.20	Низкоплодородные суглинистые почвы
Малоярославецкий	1205	0.77	Низкоплодородные суглинистые почвы
Перемышльский	2133	1.87	Низкоплодородные суглинистые почвы
Тарусский	1301	1.84	Низкоплодородные суглинистые почвы
Ферзиковский	2679	2.12	Низкоплодородные суглинистые почвы
В среднем по районам	1565.6	1.57	
Московская область			
Зарайский	6854	11.58	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Каширский	11772	18.47	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Коломенский	4100	6.99	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Луховицкий	4676	14.76	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Наро-Фоминский	552	0.51	Низкоплодородные суглинистые почвы
Озерский	3056	5.77	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Подольский	212	0.39	Низкоплодородные суглинистые почвы
Серебряно-Прудский	10369	12.92	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Серпуховский	4864	4.52	Низкоплодородные суглинистые почвы
Ступинский	7736	5.06	Низкоплодородные суглинистые почвы
Чеховский	1355	1.56	Низкоплодородные суглинистые почвы
В среднем по районам	5049.6	7.50	
Тульская область			
Алексинский	5686	6.36	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Белёвский	167	0.40	Низкоплодородные легкосуглинистые и супесчаные почвы
Богородицкий	7798	9.66	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Венёвский	27415	17.06	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Дубенский	2668	3.41	Среднеплодородные суглинистые почвы
Заокский	11064	11.88	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Киреевский	9866	10.55	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Ленинский	3969	3.05	Низкоплодородные суглинистые почвы
Новомосковский	5403	7.92	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Одоевский	3957	3.37	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Суворовский	1040	0.97	Среднеплодородные суглинистые почвы
Узловский	4015	7.31	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Щёкинский	6140	4.46	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Ясногорский	23232	17.58	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
В среднем по районам	8030	7.43	

Примечание: Цветом показаны лесостепные районы или районы на стыке лесной зоны и лесостепи.

Таблица 4. Доля ареалов, появившихся в разные годы, в общей площади золотарника на территории исследований в 2011 г., %

№ пп	Район	1991	1994	2006	2011
Калужская область					
1	Бабынинский	0.00	0.09	0.00	99.91
2	Боровский	0.00	16.71	0.00	83.29
3	Жуковский	0.00	8.62	0.00	91.38
4	Козельский	0.03	0.61	0.00	99.35
5	Малоярославецкий	0.00	9.82	0.00	90.18
6	Перемышльский	0.06	5.53	0.00	94.41
7	Тарусский	0.93	13.87	0.01	85.19
8	Ферзиковский	0.30	6.57	0.00	93.13
Московская область					
9	Зарайский	0.83	17.29	0.00	81.89
10	Луховицкий	0.02	3.12	0.00	96.86
11	Каширский	1.10	7.78	0.02	91.10
12	Коломенский	0.10	4.20	0.00	95.70
13	Наро-Фоминский	0.00	4.32	0.00	95.68
14	Озерский	0.26	13.80	0.00	85.93
15	Подольский	0.00	3.88	0.00	96.12
16	Серебряно-Прудский	2.06	14.66	0.01	83.27
17	Серпуховский	0.02	19.02	0.00	80.96
18	Ступинский	0.72	10.15	0.18	88.96
19	Чеховский	0.02	12.80	0.00	87.17
Тульская область					
20	Алексинский	0.19	12.52	0.01	87.27
21	Белёвский	2.21	20.93	0.00	76.86
22	Богородицкий	4.62	16.55	0.02	78.81
23	Венёвский	2.00	14.24	0.05	83.71
24	Дубенский	0.13	9.85	0.00	90.01
25	Заокский	0.10	10.61	0.00	89.29
26	Киреевский	1.67	15.45	0.01	82.87
27	Ленинский	2.43	13.28	0.07	84.22
28	Новомосковский	2.84	8.76	0.03	88.37
29	Одоевский	0.27	11.26	0.00	88.46
30	Суворовский	0.49	19.96	0.01	79.53
31	Узловский	2.35	14.25	0.00	83.40
32	Щёкинский	1.40	19.23	0.00	79.37
33	Ясногорский	0.66	15.43	0.01	83.90

быть не детектированы в связи с генерализованностью изображений. Такие размеры ареалов не являются преобладающими, но также, как показали исследования в Брянской области и в Белоруссии, достаточно распространены (Булохов и др., 2011; Гусев, Шпилевская, 2017).

Результаты, представленные в наших исследованиях, отражают лишь большие контуры, где золотарник уже доминирует. Как правило, они приурочены в регионе исследований к заброшенной пашне. Но это означает, что часть небольших контуров растительности с золотарником на других угодьях могла быть нами не выявлена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что спутниковые данные *Landsat* могут быть использованы для многолетнего мониторинга распространения инвазивных видов *Solidago* в регионе. Для этого необходимо использовать изображения, полученные в фазу цветения золотарника. Одним из существенных ограничений данного метода является влияние облачности на возможность получения изображений в необходимые даты съемки.

Установлено, что во многих случаях контуры растительности, занятые североамериканскими видами золотарника, концентрируются вдоль границ между административными районами, что, вероятно, связано со спецификой забрасывания пахотных земель. Кроме того, на их географию влияют и особенности почвенного покрова территории.

Также подтверждено, что наибольший прирост площадей под инвазивными золотарниками в районе исследований произошел в период с 2006 по 2011 г., что может быть связано как с сукцессионными процессами, так и с повышением уровня плодородия почв на заброшенных полях, а также с климатическими изменениями, которые создали в последние годы для экспансии золотарника более благоприятные условия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (№ 19-05-50063) и Программы стратегического академического лидерства РУДН.

FUNDING

The research was supported by the RFBR (project no. 19-05-50063) and by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного производства / ред. Г.А. Романенко. М.: РАСХН, 2008. 64 с.
- Арепьева Л.А., Куликова Е.Я. Сообщества с участием *Solidago canadensis* и *S. gigantea* в городах Курск,

- Брянск и Минск // Бюлл. Брянского отд. Русского ботанического общества. 2017. № 3 (11). С. 38–43.
- Брагинец Л.А., Журсиналина Д.С. Инвазийные эунеофиты сорной и рудеральной флоры г. Костаная и его окрестностей / Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Сб. материалов докл. V Международ. конф. 2018. С. 27–29.
- Булохов А.Д., Дайнеко Н.М., Харин А.В. Сообщества неофитов Сожско-Ипатьевского междуречья, сформированные северо-американскими видами / Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: Материалы IV Международ. заочной научно-практической конф. / ред. Л.М. Ахромеев. 2017. С. 37–48.
- Булохов А.Д., Ключев Ю.А., Панасенко Н.Н. Неофиты и их сообщества в Брянской области // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 5. С. 606–621.
- Булохов А.Д., Садик О.Н. Фитоценотическая активность *Solidago canadensis* L. в сообществах залежей и суходольных лугов // Вестн. Брянского гос. ун-та. 2015. № 2. С. 383–387.
- Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Календарь цветения и морфометрические признаки пыльцы некоторых инвазионных видов растений в Средней России // Hortus Botanicus. 2016. Т. 11. С. 72–84.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2010. 503 с.
- Гамова Н.С., Дудов С.В., Суткин А.В., Краснопеццева А.С. Новые и редко встречающиеся в Бурятии таксоны адвентивных растений из охранный зоны Байкальского заповедника // Turczaninowia. 2018. Т. 21. № 3. С. 12–20.
- Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство) / ред. Р.С.-Х. Эдельгериев. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. 476 с.
- Гусев А.П. Вторжение золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в антропогенные ландшафты Беларуси // Рос. журн. биол. инвазий. 2017. Т. 10. № 4. С. 28–35.
- Гусев А.П., Шпилевская Н.С. Воздействие вторжения золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на растительное биоразнообразие в условиях ландшафтов Беларуси // Биосфера. 2017. Т. 9. № 4. С. 300–305.
- Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Булохов А.Д., Панасенко Н.Н. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Solidago gigantea* L. в районах Гомельской области Беларуси, приграничных с территорией Брянской области России // Бюлл. Брянского отделения РБО. 2017. № 3 (11). С. 44–48.
- Колдомова Е.А. Некоторые особенности биологии семян инвазионного вида *Solidago canadensis* L. / Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: Сб. статей VIII Всерос. с международ. участием научно-практич. конф. 2018. С. 22–26.
- Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / Л.И. Малышев и др. / под ред. К.С. Байкова. РАН, Сиб. отд-ние, Центр. сиб. бот. сад. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 640 с.
- Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
- Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
- Мининзон И.Л., Тростина О.В. Черная книга флоры Нижегородской области: чужеродные виды растений, заносные и культивируемые, активно натурализующиеся в условиях Нижегородской области. Нижний Новгород. 2018. <https://dront.ru/wp-content/uploads/2018/02/CHernaya-kniga-NNo-VII.pdf>
- Панасенко Н.Н., Володченко Ю.С., Холенко М.С., Колесникова Ю.В. Особенности распространения и биологии *Solidago* // Бюлл. Брянского отделения Русского ботанического общества. 2018. № 4 (16). С. 30–38.
- Пещанская Е.В. Продуктивность *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) в условиях Ставропольской возвышенности // Бюлл. бот. сада Саратовского гос. ун-та. 2012. № 10. С. 85–89.
- Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.
- Уфимцев В.И. Особенности распространения *Solidago canadensis* L. в нарушенных сообществах Междуреченского городского округа / Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Сб. материалов V Международ. конф. 2018. С. 119–120.
- Черная книга флоры Сибири / науч. ред. Ю.К. Виноградова, отв. ред. А.Н. Куприянов. Новосибирск: Гео, 2016. 440 с.
- Шмелев В.М., Панкрушина А.Н. Особенности распространения инвазионных *Solidago* (Asteraceae) и их воздействие на природные виды // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер.: Биология и экология. 2019. № 3 (55). С. 130–135.
- Fenesi A., Vagasi C.I., Meldean M., Földesi R., Kolcsar L.-P., Shapiro J.T. Török E., Kovacs-Hostyánszki A. *Solidago canadensis* impacts on native plant and pollinator communities in different-aged old fields // Basic and Applied Ecol. 2015. V. 16. P. 335–346.
- Kundel D., van Kleunen M., Dawson W. Invasion by *Solidago* species has limited impacts on soil seed bank communities // Basic and Applied Ecol. 2014. V. 15. № 7. P. 573–580.
- Szymura M., Szymura T.H. Interactions between alien goldenrods (*Solidago* and *Euthamia* species) and comparison with native species in Central Europe // Flora – Morphology, Distribution, Function Ecology of Plants. 2016. V. 218. № 2. P. 51–61.
- Weber E., Jakob G. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton // Flora – Morphology, Distribution, Function Ecology of Plants. 2005. V. 200. № 2. P. 109–118.

Spatial Features of Goldenrods (Invasive *Solidago* Species) Expansion in Central Regions of European Part of Russia

I. Yu. Savin^{1, 2, *} and E. A. Shishkonakova¹

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

²RUDN University, Ecological Faculty, Moscow, Russia

*e-mail: savin_iyu@esoil.ru

Stagnation in Russia's agricultural sector over the past decades has led to a progressive growth in the number of abandoned lands. In many areas of Europe and Asia, invasive species are being introduced on abandoned lands, making certain adjustments to the successional process's characteristic of regional landscapes. Using the *Landsat* satellite data archive the analysis of long-term dynamics of the range of invasive goldenrods species on the abandoned lands of the center of the European part of Russia has been carried out. It has been established that in many cases the goldenrods ranges are concentrated along the borders between the administrative units, which is associated with the specifics of arable land abandonment. The geography of goldenrods is also affected by the area's specific soil cover. It has been confirmed that the biggest splash of the area under the goldenrod on the territory of the research took place in the period from 2006 to 2011, which can be connected with both the successional changes and the increase of the fertility level of the abandoned arable lands, as well as with the climatic changes, which have created more favorable conditions for the expansion of the goldenrods in recent years.

Keywords: genus *Solidago*, invasion species, Oka basin, *Landsat*, abandoned lands, vegetation dynamics

REFERENCES

- Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel', vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva* [Agroecological Condition and Prospects of Use of Lands Left out of Active Agricultural Production]. Romanenko G.A., Ed. Moscow: Ross. Akad. S-kh. Nauk, 2008. 64 p.
- Arep'eva L.A., Kulikova E.Y. Communities with participation of *Solidago canadensis* and *S. gigantea* in Kursk, Bryansk and Minsk. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O-va*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 38–43. (In Russ.).
- Braginets L.A., Zhursinalina D.S. Invasive eunephytes of weed and ruderal flora of Kostanay and its environs. In *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov. Sb. mater. dokl. V Mezhdunar. konf.* [Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions. Proc. V Int. Conf.]. Kemerovo: Inst. Ekol. Cheloveka Sibir. Otd. RAN, 2018, pp. 27–29. (In Russ.).
- Bulokhov A.D., Daineko N.M., Kharin A.V. Neophyte communities of Sozhsko-Iputsky interfluvium formed by North American species. In *Geograficheskie problemy sbalansirovannogo razvitiya staroosvoennykh regionov. Mater. IV Mezhdunar. zaochn. nauchn.-prakt. konf.* [Geographical Problems of Balanced Development of Old-Developed Regions. Proc. IV Int. Sci. Pract. Conf.]. Akhromeev L.M., Ed. Bryansk, 2017, pp. 37–48. (In Russ.).
- Bulokhov A.D., Klyuev Y.A., Panasenkov N.N. Neophytes and their communities in Bryansk region. *Bot. Zh.*, 2011, vol. 96, no. 5, pp. 606–621. (In Russ.).
- Bulokhov A.D., Sadiq O.N. Phytocoenotic activity of *Solidago canadensis* L. in communities of deposits and dry meadows. *Vestn. Bryansk. Gos. Univ.*, 2015, no. 2, pp. 383–387. (In Russ.).
- Chernaya kniga flory Sibiri* [Black Book of Siberian Flora]. Vinogradova Yu.K., Kupriyanov A.N., Eds. Novosibirsk: Geo Publ., 2016. 440 p.
- Daineko N.M., Timofeev S.F., Bulokhov A.D., Panasenkov N.N. Ontogenetic structure of the *Solidago gigantea* L. price populations in the districts of the Gomel region of Belarus bordering the territory of the Bryansk region of Russia. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O-va*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 44–48. (In Russ.).
- Fenesi A., Vagasi C.I., Meldean M., Földesi R., Kolcsar L.-P., Shapiro J.T., Török E., Kovacs-Hostyánszki A. *Solidago canadensis* impacts on native plant and pollinator communities in different-aged old fields. *Basic Appl. Ecol.*, 2015, vol. 16, pp. 335–346.
- Gamova N.S., Dudov S.V., Sutkin A.V., Krasnopevtseva A.S. New and rarely met in Buryatia taxa of adventive plants from the Baikal reserve conservation area. *Turczaninovia*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 12–20. (In Russ.).
- Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsiya zemel', institutsional'nye, infrastrukturalnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)* [Global Climate and Soil Cover of Russia: Desertification and Land Degradation, Institutional, Infrastructural, Technological Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)]. Edelgeriev R.S.-Kh., Ed. Moscow: Pochvennyi Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2019. 476 p.
- Gusev A.P. Invasion of the Canadian goldsmith (*Solidago canadensis* L.) into the anthropogenic landscapes of Belarus. *Russ. Zh. Biol. Invazii*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 28–35. (In Russ.).
- Gusev A.P., Shpilevskaya N.S. Impact of the *Canadian gold-plant canadensis* L. invasion on the vegetative biodiversity in the Belarusian landscapes. *Biosfera*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 300–305. (In Russ.).
- Koldomova E.A. Some features of biology of seeds of invasive species *Solidago canadensis* L. In *Izuchenie, sokhraneniye i vosstanovleniye estestvennykh landshaftov. Sb. statei VIII vseross. s mezhdunar. uchastiem nauchn.-prakt. konf.* [Study, Conservation and Restoration of

- Natural Landscapes. Proc. VIII All-Russian with Int. Participation Sci. and Pract. Conf.]. Volgograd, 2018, pp. 22–26. (In Russ.).
- Konspekt flory Aziatskoy Rossii: Sosudistye rasteniya* [Collection of Flora of Asian Russia: Vascular Plants]. Baikov K.S., Ed. Novosibirsk: Sibir. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2012. 640 p.
- Kundel D., van Kleunen M., Dawson W. Invasion by *Solidago* species has limited impacts on soil seed bank communities. *Basic Appl. Ecol.*, 2014, vol. 15, no. 7, pp. 573–580.
- Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti* [Dynamics of Agricultural Lands of Russia in the 21st Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation]. Moscow: GEOS Publ., 2010. 416 p.
- Maevskii P.F. *Flora srednei polosy evropeiskoi chasti Rossii* [Flora of the Central Part of the European part of Russia]. Moscow: KMK Publ., 2014, 11th ed. 635 p.
- Mininzon I.L., Trostina O.V. *Chernaya kniga flory Nizhegorodskoi oblasti: chuzherodnye vidy rastenii, zanosnye i kul'tiviruyemye, aktivno naturalizuyushchiesya v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti* [Black Book of Flora of the Nizhny Novgorod Region: Alien Plant Species, Imported and Cultivated, Actively Naturalized in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region]. Nizhny Novgorod, 2018. Available at: <https://dront.ru/wp-content/uploads/2018/02/CHernaya-kniga-NN-VII.pdf> (accessed: 12.03.2021).
- Panasenko N.N., Volodchenko Yu.S., Kholenko M.S., Kolesnikova Yu.V. Peculiarities of propagation and biology of *Solidago*. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O-va*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 30–38. (In Russ.).
- Peshchanskaya E.V. Productivity of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in conditions of the Stavropol Upland. *Byull. Bot. Sada Saratov. Gos. Univ.*, 2012, no. 10, pp. 85–89. (In Russ.).
- Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100)* [The Most Dangerous Invasive Species of Russia (TOP-100)]. Dgebuadze Yu.Yu., Petrosyan V.G., Khlyap L.A., Eds. Moscow: KMK Publ., 2018. 688 p.
- Shmelev V.M., Pankrushina A.N. Peculiarities of the invasive *Solidago* (Asteraceae) spreading and their influence on the natural species. *Vestn. Tver. Gos. Univ. Ser.: Biol. Ecol.*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 130–135. (In Russ.).
- Szymura M., Szymura T.H. Interactions between alien goldenrods (*Solidago* and *Euthamia* species) and comparison with native species in Central Europe. *Flora*, 2016, vol. 218, no. 2, pp. 51–61.
- Ufimtsev V.I. Features of distribution of *Solidago canadensis* L. in the broken communities of the Mezhdurechensky urban district. In *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov. Sb. mater. dokl. V Mezhdunar. konf.* [Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions. Proc. V Int. Conf.]. Kemerovo, 2018, pp. 119–120. (In Russ.).
- Vinogradova Yu.K., Kuklina A.G. Calendar of flowering and morphometric signs of pollen of some invasive plant species in Middle Russia. *Hortus Botanicus*, 2016, vol. 11, pp. 72–84. (In Russ.).
- Vinogradova Yu.K., Maerov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Srednei Rossii (Chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii)* [Black Book of Flora of Middle Russia (Alien Plant Species in Ecosystems of Middle Russia)]. Moscow: GEOS Publ., 2010. 503 p.
- Weber E., Jakob G. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton. *Flora*, 2005, vol. 200, no. 2, pp. 109–118.