

УДК 621.311:631.371

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-59-67

Энергетический потенциал органических отходов

Т.И. Андреевко, С.В. Киселева, Ю.Ю. Рафикова, А.А. Тулегенова

Биоэнергетика — основная отрасль возобновляемой энергетики по производству тепла и электроэнергии. Возможность ее развития определяется технологиями и ресурсами, причем локализованными, поскольку протяженная транспортировка органических отходов (первичных ресурсов) ведет к неконкурентоспособности произведенной энергии. Данный фактор определяет актуальность оценки ресурсов биоэнергетики в различных масштабах — от отдельных государств (для принятия общих стратегических решений) до регионов и локаций (для обоснования схем энергоснабжения конкретных территорий или объектов). Представлены методические подходы и результаты оценки ресурсов для развития биоэнергетики в регионах России с детализацией до муниципалитетов.

Ключевые слова: органические отходы, сельское хозяйство, картографирование, биоэнергетика.

Для цитирования: Андреевко Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю., Тулегенова А.А. Энергетический потенциал органических отходов // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 59—67. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-59-67.

Organic Waste Energy Potential

T.I. Andreenko, S.V. Kiseleva, Yu.Yu. Rafikova, A.A. Tulegenova

Bioenergy is the renewable energy main branch for production of heat and electricity. The possibility of its development is determined by technologies and resources; the latter should be locally available, since transportation of organic waste (primary resources) over long distances results in that the produced energy becomes non-competitive. This factor determines the relevance of assessing bioenergy resources at various scales - from individual states (for making general strategic decisions) to regions and municipalities (for substantiating energy supply schemes for particular territories or facilities). The article presents methodological approaches to assessing the resources for the development of bioenergy in the regions of Russia and resource assessment results with detailing them to the level of municipalities.

Key words: organic waste, agriculture, mapping, bioenergy.

For citation: Andreenko T.I., Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu., Tulegenova A.A. Organic Waste Energy Potential. Bulletin of MPEI. 2022;4:59—67. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-59-67.

Введение.

Современная биоэнергетика обеспечивает порядка 5,1% общего мирового конечного потребления энергии, что составляет около половины всей энергии, полученной от возобновляемых источников [1]. Европейский союз — регион, особенно активно развивающий отрасли биоэнергетики. Его ресурсы биомассы обеспечивают 18% конечного потребления энергии [2]. Большое число исследований и реализованных проектов направлено на разработку технологий получения биотоплива второго — четвертого поколений, ассоциирующихся преимущественно с непищевой биомассой, в том числе с сельскохозяйственными отходами [3, 4]. Для России именно переработка отходов жилищно-коммунального сектора и сельскохозяйственного производства является перспективным и наиболее востребованным направлением биоэнергетики, поскольку результаты его развития внесут весомый вклад в решении проблемы утилизации отходов, обеспечат сельские регионы тепловой энергией, что особенно важно для удаленных регионов страны со слабо развитой инфраструктурой.

Востребованность биоэнергетики как технологии производства энергии определяется, в том числе, на-

личием ресурсов. Интерес к оценкам ресурсов и количество исследований в этой области устойчивы в течение многих десятков лет. Методики оценок становятся все более детальными, комплексными, расширяется номенклатура видов биомассы (в первую очередь, отходов), вовлекающихся в такого рода оценки. Результаты работ все в большей степени становятся открытыми, поскольку в этом случае появляются широкие возможности для привлечения в отрасль инвесторов, региональных властей. Открытость реализуется через интерактивные карты, атласы, геоинформационные системы (ГИС), базы данных.

В результате многолетних исследовательских проектов Европейского Союза (например, S2Biom (2013—2016 гг.) [5]) были разработаны и выложены в открытый доступ методики определения энергопотенциала биомассы различного происхождения, территориальные распределения потенциалов на национальном и субнациональном уровнях всех стран, созданы базы данных энергетического потенциала и стоимости биомассы. Полученные результаты облегчили поиски источников биомассы с заданными свойствами для энергетических проектов, что было продемонстрировано,

например, при реализации проекта BioSFerA (BIO Fuels Production from Syngas FERmentation for Aviation and Maritime Use), целью которого были поиски ресурсов биомассы, отходов для газификации и ферментации с получением жидкого биотоплива для авиации и морского судоходства [6].

В Российской Федерации оценка биоэнергетических ресурсов имеет длинную историю. Одной из основных работ в этой области за последние десятилетия является публикация [7], в которой предложена методика оценки ресурсов различных видов биомассы для масштабов уровня Федеральных округов и субъектов РФ. Авторы ввели понятие и создали методы оценки валового, технического и экономического энергетического потенциала различных видов биомассы, в том числе органических отходов.

Развитие данного направления стимулировалось государством в связи с его заинтересованностью во внедрении возобновляемой энергетики, в том числе биоэнергетики, и организации системы обращения с отходами в РФ.

Коллективом научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии МГУ им. М.В. Ломоносова (НИЛ ВИЭ МГУ) был выполнен ряд исследований с целями развития и углубления предложенных методов оценки ресурсов биоэнергетики, и проведения оценок с большей пространственной детализацией.

Представлены результаты расчетно-аналитических работ НИЛ ВИЭ МГУ в области оценки ресурсов, валового и технического потенциала биоэнергетики для территории РФ. Изучены источники данных, в качестве источников биомассы предложены новые типы органических отходов.

Материалы и методы исследования.

При оценке валового потенциала биоэнергетики в качестве ресурсов рассматривали не специально произведенную биомассу, а органические отходы, образующиеся на заданной территории (субъекта/муниципалитета Российской Федерации) в сельском (растениеводство и животноводство) и жилищно-коммунальном (твердые коммунальные отходы (ТКО), осадки сточных вод (ОСВ)) хозяйствах.

Для определения энергии, заключенной в биомассе отходов, использованы значения массы отходов (ресурсов биомассы отходов) различных видов i в субъекте/муниципалитете l и удельного энергосодержания (или низшей теплоты сгорания) для соответствующих видов биомассы. Отношение урожая и отходов для каждого вида растительных культур, удельное количество отходов животноводства по видам скота, удельное энергосодержание различных видов органических отходов существенно отличаются, поэтому расчеты энергетического потенциала отходов растениеводства и животноводства выполнены по отдельным видам

сельскохозяйственных культур и направлениям животноводства.

Ресурсы биомассы отходов M_{li} характеризуются годовым урожаем растительных культур, поголовьем скота, образующейся в течение года массой ТКО и ОСВ. Эти величины получают на основе экспериментально определенных коэффициентов образования отходов при известных численности населения, годовом урожае, поголовье скота в субъекте l :

$$M_{li} = N_{li} L_i,$$

где N_{li} — масса урожая растительной культуры вида i /поголовье скота вида i /численность жителей (с делением на сельское и городское население); L_i — коэффициент образования отходов для биомассы вида i .

Валовый энергетический потенциал отходов Q_l в субъекте l выглядит как произведение их массы M_{li} на удельное энергосодержание K_i . Так, для отходов агропромышленного комплекса (АПК) валовый энергетический потенциал равен:

$$Q_l^{\text{АПК}} = \sum_{i=1}^n M_{li}^{\text{АПК}} K_i^{\text{АПК}}.$$

Суммирование выполнено по всем культурам растениеводства и видам скота.

Ресурсы биоэнергетики оценивали на основе статистических данных различного уровня генерализации (сведения Росстата по субъектам РФ, базы данных Росстата по муниципальным образованиям и отдельным поселениям) и отраслевой информации (отраслевых объединений и компаний — производителей сельскохозяйственной продукции).

Технический энергетический потенциал биомассы отходов рассчитывали на основе валового потенциала в предположении, что электроэнергию и тепло можно получить с помощью мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы. При этом брали во внимание коэффициенты преобразования энергии биомассы в тепло и электроэнергию, а также доли тепла и электроэнергии на собственные нужды.

Результаты и обсуждение.

Началом систематических работ лаборатории в области биоэнергетики стало выполнение в 2014 г. проекта «Оценка ресурсов, валового и технического ресурсного потенциала ВИЭ в Российской Федерации с разбивкой по регионам и типам ресурсов» совместно с ФГБУ «РЭА» Минэнерго РФ. Были изучены ресурсы и энергетические потенциалы сельскохозяйственных отходов, ТКО, ОСВ, отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности на территории Российской Федерации по субъектам РФ с представлением полученных результатов в виде баз данных и карт [8, 9].

Потенциалы отходов АПК рассчитаны для широкого перечня сельскохозяйственных культур: озимых и

яровых пшеницы, ржи, тритикале, ячменя, овся, проса, гречихи, риса, рапса, подсолнечника, кукурузы на зерно, сои, картофеля, овощей, свёклы. Поскольку анализ динамики урожая сельскохозяйственных культур показал их существенную разнонаправленную изменчивость, при расчетах величин отходов растениеводства были осреднены официальные данные Росстата об урожаях каждой культуры за 2006 — 2012 гг.

В качестве источников отходов животноводства рассматривали крупный рогатый скот, овец и коз, свиней, птицу (молодняк и взрослых особей).

Для оценки ресурсов ТБО и ОСВ задействованы результаты Всероссийской переписи населения 2010 г., а также актуализированная статистика, отражающая динамику демографических показателей (численность населения в субъектах РФ, долю сельского и городского населения) за 2010 — 2013 гг.

Для оценки ресурсов биомассы, образующейся в лесопромышленном комплексе РФ, взяты данные о величине расчетной лесосеки в субъектах РФ и сведения статистики о доле вырубке расчетной лесосеки, в том числе, ежегодные доклады Федерального агентства лесного хозяйства о состоянии и использовании лесов Российской Федерации.

В связи с большой протяженностью ряда субъектов РФ (Красноярский и Хабаровский края, Иркутская область) потенциалы биоэнергетики в них считали со внутренним делением территории на 2 — 3-и субрегиона (по границам муниципальных образований) для максимально полного отражения неоднородности агроклиматических условий, расчетной лесосеки и концентрации населения. С целью нивелирования влияния площади региона для каждого субъекта РФ была установлена плотность валового потенциала биоэнергетики. Показано, что максимальной плотностью характеризуются регионы со значительной плотностью населения и/или высоким уровнем развития сельскохозяйственного производства/лесного комплекса: Московская, Ленинградская, Белгородская и Вологодская области, Краснодарский край, Республика Адыгея, Ре-

спублика Удмуртия, а минимальной — север и центр Республики Саха (Якутия) и Красноярского края, север Хабаровского края, Чукотский АО. Полученные результаты показали, что для уточнения оценок требуется территориальная детализация исходных данных о ресурсах биоэнергетики (массе ежегодно образующихся органических отходов).

Во всех последующих работах была принята детализация до уровня муниципальных образований субъектов РФ, а также развита методика оценок потенциалов биоэнергетики в следующих направлениях:

- расширение номенклатуры анализируемых растительных культур как источников биомассы отходов (например, отходов обрезки садов и виноградников);
- дифференциация отходов различного типа от одной и той же сельскохозяйственной культуры (так, лузга и стебли подсолнечника обладают разным энерго содержанием, и их перерабатывают с помощью разных технологий);
- разделение категорий производителей сельскохозяйственной продукции (сельскохозяйственные организации, крестьянско-фермерские хозяйства, личные подсобные хозяйства), введение понятия доступный потенциал биоэнергетики для учета той части органических отходов, которые могут быть собраны на территории региона и переработаны для получения энергии;
- учет половозрастного состава поголовья скота при оценке ресурсов и валового энергетического потенциала отходов животноводства;
- использование ГИС-технологий при выборе наиболее оптимальных локаций для строительства предприятий энергетического использования отходов сельского хозяйства.

Модернизированную методику применяли при расчетах валового и технического потенциалов тепла и электроэнергии отходов сельскохозяйственного производства с детализацией до муниципальных образований Московской, Волгоградской и Ростовской областей, Краснодарского и Ставропольского краёв, Республик Дагестан, Кабардино-Балкария и Крым (рис. 1).



Рис. 1. Валовый энергетический потенциал отходов от выращивания зерновых ■, кукурузы ■ и подсолнечника ■ для южных регионов России

Для большей части южной территории страны основная проблема сельского хозяйства — дефицит влагообеспечения, поэтому зерновое хозяйство всегда было и остаётся важнейшей отраслью агропромышленного комплекса данных регионов. В структуре посевных площадей зерновых культур доминируют озимые культуры пшеницы и ячменя, развивающиеся за счёт зимне-весенних запасов влаги и успевающие сформировать урожай до наступления жаркой и сухой погоды. В то же время расчёты показывают, что внутри регионов наблюдается значительная территориальная неоднородность производства указанных культур.

В половине районов Краснодарского края урожай зерновых составляет более 4 млн центнеров в год, что соответствует энергосодержанию отходов (соломы) свыше 170 тыс. т у. т./г для каждого из районов. Семь районов собирают более 5 млн центнеров в год и 2 района — более 6 млн центнеров, что обеспечивает валовый энергopotенциал отходов более 210 тыс. т у. т./г и 300 тыс. т у. т./г, соответственно (рис. 2, а). Такое распределение характеризуется, в основном, агроклиматическими условиями и типом почв.

Что касается других, значимых по объёму ежегодного образования, растительных отходов (производства подсолнечника и кукурузы), то они сосредоточены в северных и северо-восточных районах края. Количество районов с высоким биоэнергетическим потенциалом указанных видов органических отходов более ограничено (по сравнению с зерновыми), соответственно, их энергетический потенциал меньше (рис. 2, б, в). При расчете технического потенциала (помимо энергетических) учитывали и другие направления использования отходов (животноводство, внесение в почву для повышения плодородия пашни и т. п.). Однако, несмотря на такое не энергетическое использование отходов, оставшиеся ресурсы достаточны для масштабного применения их в производстве тепловой и электрической энергии.

Особенности внутрирегионального распределения ресурсов биоэнергетики в Волгоградской области, Республиках Дагестан и Крым проанализированы в [10 — 12].

Древесная биомасса, полученная от обрезки и удаления многолетних сельскохозяйственных насаждений и применяемая для нужд энергетики, — относительно новое активно исследуемое и развивающееся направление в Европе в последнее десятилетие [2, 5, 13, 14]. Выполнена количественная оценка биомассы от обрезки растений во всех странах Евросоюза [5]. Показано, что ее теплофизические свойства аналогичны свойствам лесной биомассы, и параметры качества сопоставимы с требованиями стандарта для лесного древесного топлива EC UNI EN 14961-1 2010 [15]. Опыт европейских стран показывает, что агроотходы выращивания многолетних насаждений обладают коммерческим, экономически выгодным характером для получения энергии, что способствует развитию сельских районов и экономики замкнутого цикла.

Садоводство в России развивается повсеместно, в ряде регионов страны виноградарство — традиционный вид земледелия. Регулярно проводимая обрезка плодовых деревьев и лозы являются обязательным условием получения хорошего урожая и качественных плодов. Утилизация срезанного древесного материала в садах — обязательная операция технологического процесса. Как в России, так и за рубежом широко распространена практика сжигания древесины или заполнения ею оврагов [16 — 18]. Авторами были проведены оценки энергосодержания древесных отходов многолетних насаждений (плодовых садов и виноградников) в ключевых регионах виноградарства и садоводства РФ: Краснодарском и Ставропольском краях, Республиках Дагестан, Кабардино-Балкария и Крым, Ростовской и Волгоградской областях (рис. 3).

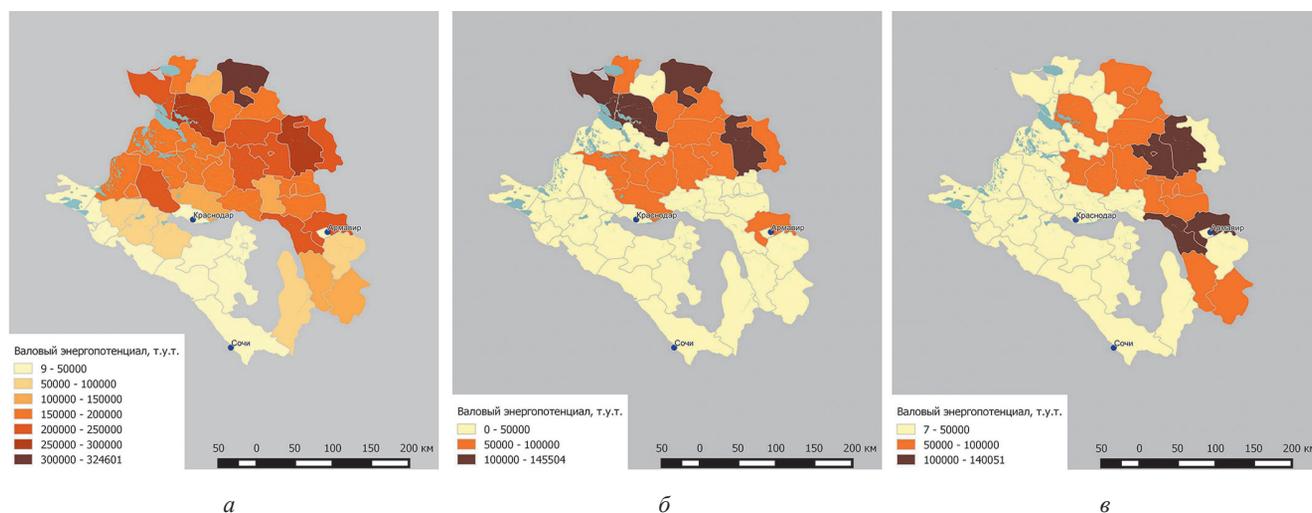


Рис. 2. Пространственное распределение валового энергетического потенциала растительных отходов в Краснодарском крае:

а — зерновые (солома); б — подсолнечник (лузга и стебли); в — кукуруза

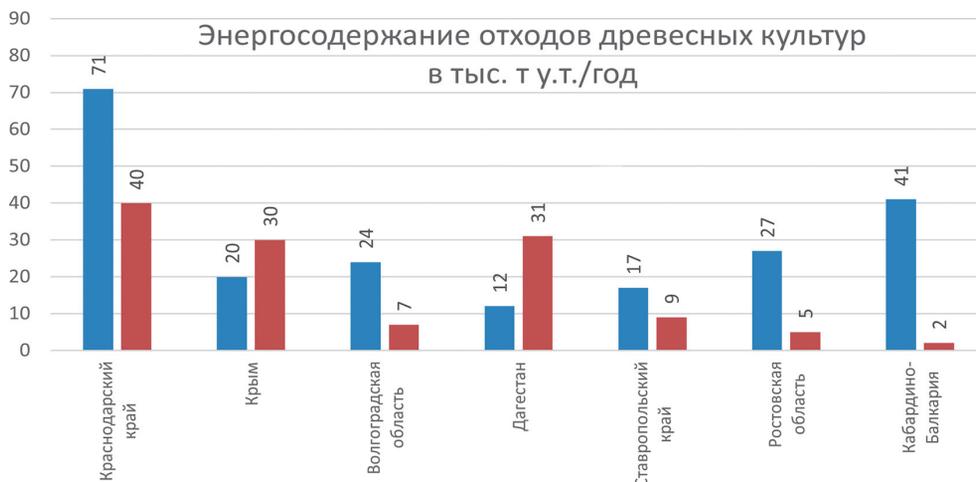


Рис. 3. Валовый энергетический потенциал отходов от выращивания фруктов и винограда для южных регионов России

Методика расчётов валового и технического потенциалов отходов древесных насаждений, а также коэффициенты для расчёта массы обрезков и их удельного энергосодержания описаны в [12].

Анализ распределения ресурсов по муниципальным образованиям субъектов средствами ГИС (рис. 4) показал, что выращивание винограда характеризуется высоким уровнем концентрации производства, что очевидно объясняется свойствами культуры (высокой требовательностью к природно-климатическим условиям произрастания). Территориальное распределение садов и, соответственно, энергопотенциалов отходов садоводства также неравномерно.

Согласно расчётам, масса ежегодной обрезки лозы на виноградниках Таманского полуострова в Темрюкском районе составляет 53 тыс. т/г, её энергетический потенциал — порядка 30 тыс. т у. т/г, что составля-

ет 72% биомассы и энергии всей лозы, получаемой в Краснодарском крае. Соответственно, технический потенциал производства тепла из этих обрезков может составить около 140 тыс. Гкал/г в случае использования ее как топлива в мини-ТЭС с прямым сжиганием биомассы. Потребление тепла жителями района на отопление и ГВС составляет 0,55 млн Гкал/г, поэтому тепловая энергия, которую можно получить из остатков обрезки лозы виноградников, потенциально покрывает до четверти (25%) потребности населения района в энергии на отопление и ГВС. Таким образом, указанный вид ресурсов биоэнергетики становится значимым для отдельных районов внутри субъектов РФ.

Отдельное направление работ авторов — анализ энергетического потенциала отходов биомассы с целью поиска оптимальных территорий для размещения энергообъектов на этом виде топлива. В [19] методика

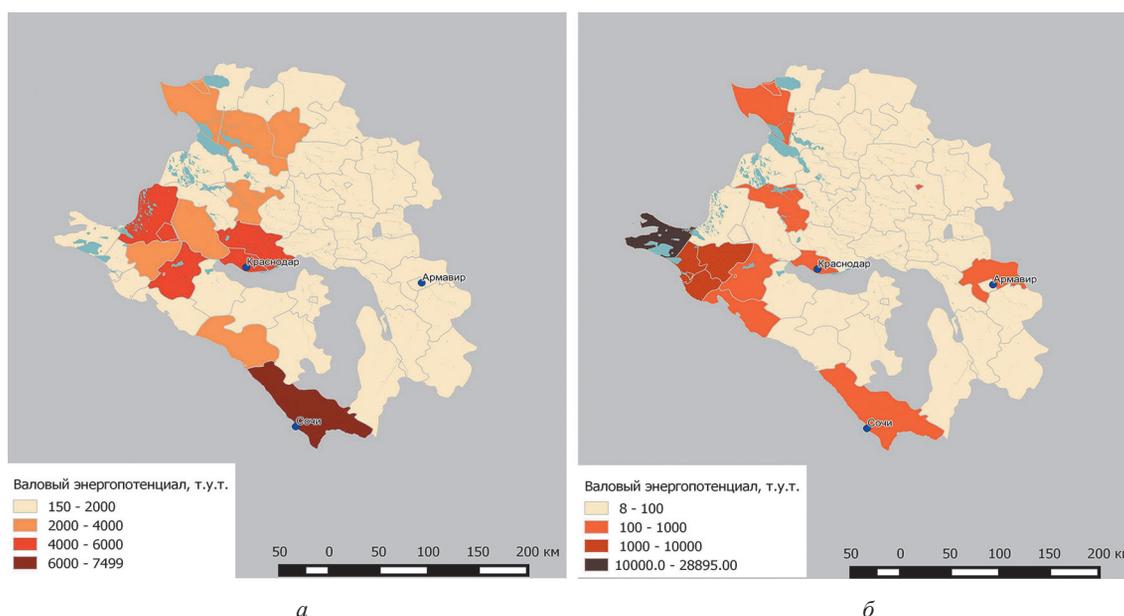


Рис. 4. Энергосодержание отходов обрезки веток плодовых деревьев (а) и виноградной лозы (б) для территории Краснодарского края

оценки энергетического потенциала отходов животноводческих предприятий дополнена территориальным анализом факторов, ограничивающих или способствующих организации энергетического использования отходов. Объектом исследований стала территория Акмолинской области Республика Казахстан (РК).

В Республике Казахстан сельское хозяйство — одна из базовых отраслей, практически полностью обеспечивающая продовольственную безопасность, а также позволяющая экспортировать значительные объемы продукции за рубеж. Переработка органических отходов практически не развита. В то же время из-за достаточного количества отходов животноводства и растениеводства страна обладает большим потенциалом получения биогаза, тепла и электроэнергии с использованием биогазовых установок и теплоэлектростанций на биомассе отходов.

На основе данных министерства сельского хозяйства и министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан и агентства по статистике Акмолинской области выполнена оценка валового и технического потенциалов отходов животноводства и растениеводства районов Акмолинской области с привязкой к конкретным предприятиям (источникам отходов), учетом половозрастного состава стада и периода стойлового содержания. Был взят только доступный валовый потенциал, характеризующийся величиной отходов от скота, содержащегося в сельскохозяйственных предприятиях. Емкость их велика, и переработка может стать рентабельной. Исходя из пространственной информации, с помощью программных средств ArcGIS построены карты предприятий животноводства Акмолинской области. С помощью тех же методов созданы картографические слои, отражающие факторы, благоприятствующие и запрещающие строительство и эксплуатацию на территории региона предприятий по переработке сельскохозяйственных отходов с получением энергии (биогазовых станций (БГС)). В качестве благоприятствующих факторов учитывали наличие линий электропередач (для транспортировки получаемой энергии), электроподстанций, дорожной сети (с качеством не ниже грунтовых дорог). В качестве факторов, запрещающих (или ограничивающих) размещение предприятий по переработке отходов выступили особо охраняемые территории, болота, реки, территории водоохранных зон. Благодаря совместному анализу картографических слоев создана карта территорий, оптимальных для размещения БГС с точки зрения инфраструктуры и экологических ограничений. С учетом мощности каждого из животноводческих предприятий уточняли виртуальную «плотность» образования отходов в пределах 10 и/или 40 км вокруг каждого предприятия (буферных зон) [20]. Это расстояние рассматривали в дальнейшем как максимальное для транспортировки жидкого и сухого (с влажностью менее 70%) навоза до места переработки. «Плотность» определяли как условную величину, равную отноше-

нию мощности источника отходов (тонн отходов в год) к площади круга соответствующего радиуса. При пересечении круговых зон радиусом 40 (или 10) км от различных предприятий-источников плотность образования отходов суммировали (рис. 5). На основе полученной карты выделены потенциальные площадки для размещения БГС с максимальной «плотностью» образования отходов. Площадки, попавшие в «запретную» для размещения БГС зону, из дальнейшего анализа исключены.

В связи с необходимостью использования органических отходов растениеводства при переработке отходов животноводства (для повышения производительности БГС) вычисляли и учитывали количество отходов растениеводства, необходимых для эффективной переработки отходов каждого животноводческого предприятия и доступных в пределах 10 или 40 км от предприятия. Сопоставлены данные пространственного распределения плотности отходов животноводства и растениеводства и разрешенных для размещения БГС территорий. Найдены наиболее оптимальные точки размещения биогазовых станций для переработки отходов от нескольких животноводческих предприятий (рис. 6). Критерием выбора точек стала минимизация затрат на транспортировку отходов по имеющейся дорожной сети. На этом же этапе сделана оценка срока простой окупаемости проекта БГС с учетом логистики и текущих цен на газ на потребительском рынке.

Выводы

За последние десятилетия оценка энергетических ресурсов биомассы отходов в России существенно развивалась и с методической, и с практической точки зрения. Укрупнился масштаб территориальных единиц, для которых определяли показатели энергоресурсов (от национального к уровню муниципальных образований), что позволило более точно локализовать существующий ресурс. Расширился перечень сельскохозяйственных культур с перспективными отходами для биоэнергетики.

Проведена оценка энергосодержания и технических потенциалов биомассы отходов сельскохозяйственного производства субъектов РФ: Московской, Волгоградской и Ростовской областей, Краснодарского и Ставропольского краёв, Республик Дагестан, Кабардино-Балкарии и Крыма. Получено территориальное распределение энергетических ресурсов по муниципальным образованиям субъектов. Выявлены районы с наибольшим потенциалом энергоресурсов. Сделан вывод о перспективности использования отходов для получения энергии в ряде районов представленных субъектов.

Разработаны методические подходы к пространственной оценке территорий средствами геоинформационных технологий для определения оптимальных (с точки зрения экономики и логистики) территорий для размещения объектов биоэнергетики, работающих на отходах животноводства и растениеводства.

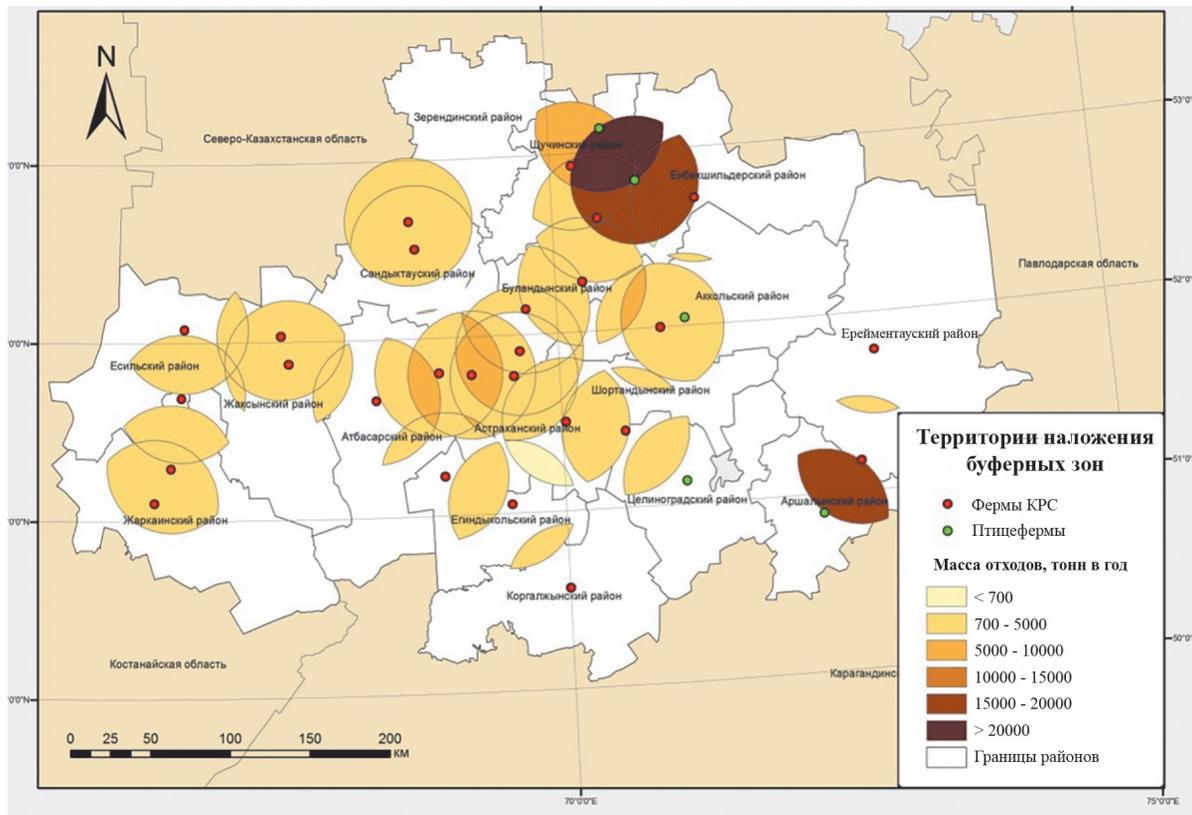


Рис. 5. Результат наложения буферных зон предприятий животноводства и величина годового образования отходов в их пределах

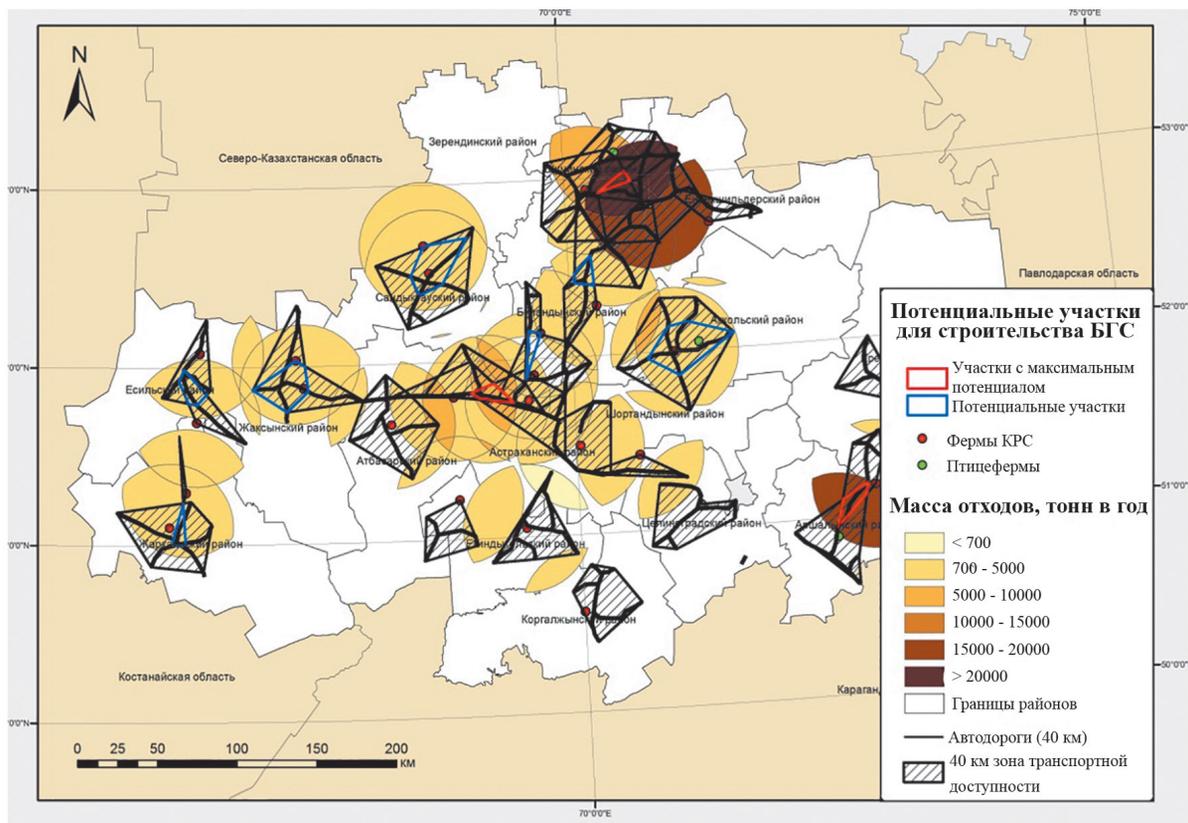


Рис. 6. Результаты выбора наиболее оптимальных участков территории Акмолинской области для строительства БГС на отходах животноводства и растениеводства

Литература

References

1. **Renewables** 2021. Global Status Report [Электрон. ресурс] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR_2021_Full_Report.pdf (дата обращения 10.02.2022).
2. **Dyjakon A., García-Galindo D.** Implementing Agricultural Pruning to Energy in Europe: Technical, Economic and Implementation Potentials // *Energies*. 2019. V. 12(8). P. 1513.
3. **Панцхава Е.С.** Электростанции на биотопливе (биомассе). М.: Русайнс, 2016.
4. **Gundekari S., Mitra J.** Classification, Characterization, and Properties of Edible and Non-edible Biomass Feedstocks // *Advanced Functional Solid Catalysts for Biomass Valorization*. N.-Y.: Elseiver, 2020. Pp. 89—120.
5. **S2BIOM** «Biomass Properties for Public» [Официальный сайт] www.s2biom.eu/ (дата обращения 10.02.2022).
6. **BioSFerA** [Официальный сайт] www.biosfera-project.eu/ (дата обращения 10.02.2022).
7. **Справочник** по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / Под ред. Безруких П.П. М.: Энергия, 2007.
8. **Атлас** ресурсов возобновляемой энергии на территории России. М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015.
9. **Геоинформационная система** «Возобновляемые источники энергии России» [Официальный сайт] www.gisre.ru/ (дата обращения 10.02.2022).
10. **Андреев Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.** Комплексный анализ распределения ресурсов биоэнергетики для территории Волгоградской области // *Альтернативная энергетика и экология*. 2017. № 7—9 (219—221). С. 49—59.
11. **Андреев Т.И., Киселева С.В., Рафикова Ю.Ю.** Оценка энергетического потенциала отходов растениеводства Крымского федерального округа // *Вестник ВИАЭСХ*. 2016. № 2(23). С. 85—90.
12. **Andreenko T.I., Rafikova Yu.Yu., Tulegenova A.** Technical Potential of Crop Production Wastes as Energy Resource for Agricultural Regions of Russia // *IOP Conf. Series: Materials Sci. and Eng.* 2019. No. 564. Pp. 012136—1—012135—6.
13. **Europruning**, Development and Implementation of a New, and Non Existing, Logistics Chain for Biomass From Pruning [Электрон. ресурс] www.cordis.europa.eu/project/id/312078/reporting/it (дата обращения 10.02.2022).
14. **Up_Running**, Take-off for Sustainable Supply of Woody Biomass from Agrarian Pruning and Plantation Removal [Электрон. ресурс] www.up-running.eu/ (дата обращения 10.02.2022).
15. **Picchi G. e. a.** Physical and Chemical Characteristics of Renewable Fuel Obtained from Pruning Residues // *J. Cleaner Production*. 2018. V. 171. Pp. 457—463.
16. **Шомахов А.Р.** Использование древесины срезаемых ветвей яблони для мульчирования почвы в

1. **Renewables** 2021. Global Status Report [Elektron. Resurs] www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR_2021_Full_Report.pdf (Data Obrashcheniya 10.02.2022).
2. **Dyjakon A., García-Galindo D.** Implementing Agricultural Pruning to Energy in Europe: Technical, Economic and Implementation Potentials. *Energies*. 2019; 12(8):1513.
3. **Pantskhava E.S.** *Elektrostantsii na Biotoplive (Biomasse)*. M.: Rusayns, 2016. (in Russian).
4. **Gundekari S., Mitra J.** Classification, Characterization, and Properties of Edible and Non-edible Biomass Feedstocks. *Advanced Functional Solid Catalysts for Biomass Valorization*. N.-Y.: Elseiver, 2020:89—120.
5. **S2BIOM** «Biomass Properties for Public» [Ofits. Sayt] www.s2biom.eu/ (Data Obrashcheniya 10.02.2022).
6. **BioSFerA** [Ofits. Sayt] www.biosfera-project.eu/ (Data Obrashcheniya 10.02.2022).
7. **Spravochnik** po Resursam Vozobnovlyaemykh Istochnikov Energii Rossii i Mestnym Vidam Topliva (Pokazateli po Territoriyam). Pod Red. Bezrukikh P.P. M.: Energiya, 2007. (in Russian).
8. **Atlas** Resursov Vozobnovlyaemoy Energii na Territorii Rossii. M.: Izd-vo RKHTU im. D.I. Mendeleeva, 2015. (in Russian).
9. **Geoinformatsionnaya Sistema** «Vozobnovlyaemye Istochniki Energii Rossii» [Ofits. Sayt] www.gisre.ru/ (Data Obrashcheniya 10.02.2022). (in Russian).
10. **Andreenko T.I., Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu.** *Kompleksnyy Analiz Raspredeleniya Resursov Bioenergetiki dlya Territorii Volgogradskoy Oblasti. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya*. 2017;7—9 (219—221): 49—59. (in Russian).
11. **Andreenko T.I., Kiseleva S.V., Rafikova Yu.Yu.** *Otsenka Energeticheskogo Potentsiala Otkhodov Rasteniyevodstva Krymskogo Federal'nogo Okruga. Vestnik VIESKH*. 2016;2(23):85—90. (in Russian).
12. **Andreenko T.I., Rafikova Yu.Yu., Tulegenova A.** *Technical Potential of Crop Production Wastes as Energy Resource for Agricultural Regions of Russia. IOP Conf. Series: Materials Sci. and Eng.* 2019;564:012136—1—012135—6.
13. **Europruning**, Development and Implementation of a New, and Non Existing, Logistics Chain for Biomass From Pruning [Elektron. Resurs] www.cordis.europa.eu/project/id/312078/reporting/it (Data Obrashcheniya 10.02.2022).
14. **Up_Running**, Take-off for Sustainable Supply of Woody Biomass from Agrarian Pruning and Plantation Removal [Elektron. Resurs] www.up-running.eu/ (Data Obrashcheniya 10.02.2022).
15. **Picchi G. e. a.** *Physical and Chemical Characteristics of Renewable Fuel Obtained from Pruning Residues. J. Cleaner Production*. 2018;171:457—463.
16. **Shomakhov A.R.** *Ispol'zovanie Drevesiny Srezannykh Vetvey Yablony dlya Mul'chirovaniya Pochvy*

садах: автореф. канд. дисс. ... канд. сельскохозяйств. наук. Нальчик: Изд-во Северо-Кавказского науч.-исслед. ин-та горного и предгорного садоводства, 2000.

17. **García-Galindo D. e. a.** Agricultural Pruning as Biomass Resource: Generation, Potentials and Current Fates. An Approach to Its State in Europe // Proc. 24th European Biomass Conf. and Exhibition. Amsterdam, 2016. Pp. 1579—1595.

18. **Алексашкин И.В., Яшенков В.О., Поляков Е.П.** Перспективы использования биотоплива в Крыму на примере виноградной лозы // Культура народов Причерноморья. 2009. № 156. С. 7—9.

19. **Тулегенова А.А., Киселева С.В.** Использование методов пространственного анализа для оценки потенциала производства энергии при помощи биогазовых станций // Проблемы региональной экологии. 2018. № 6. С. 73—77.

20. **Sliz-Szkliniarz B., Vogt J.** A GIS-based Approach for Evaluating the Potential of Biogas Production from Livestock Manure and Crops at a Regional Scale: a Case Study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship // Renewable and Sustainable Energy Rev. 2012. V. 16. Pp. 752—763.

v Sadakh: Avtoref. Kand. Diss. ... Kand. Sel'skokhoz. Nauk. Nal'chik: Izd-vo Severo-Kavkazskogo Nauch.-issled. In-ta Gornogo i Predgornogo Sadovodstva, 2000. (in Russian).

17. **García-Galindo D. e. a.** Agricultural Pruning as Biomass Resource: Generation, Potentials and Current Fates. An Approach to Its State in Europe. Proc. 24th European Biomass Conf. and Exhibition. Amsterdam, 2016:1579—1595.

18. **Aleksashkin I.V., Yashenkov V.O., Polyakov E.P.** Perspektivy Ispol'zovaniya Biotopliva v Krymu na Primere Vinogradnoy Lozy. Kul'tura Narodov Prichernomor'ya. 2009;156:7—9. (in Russian).

19. **Tulegenova A.A., Kiseleva S.V.** Ispol'zovanie Metodov Prostranstvennogo Analiza dlya Otsenki Potentsiala Proizvodstva Energii pri Pomoshchi Biogazovykh Stantsiy. Problemy Regional'noy Ekologii. 2018;6:73—77. (in Russian).

20. **Sliz-Szkliniarz B., Vogt J.** A GIS-based Approach for Evaluating the Potential of Biogas Production from Livestock Manure and Crops at a Regional Scale: a Case Study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. Renewable and Sustainable Energy Rev. 2012;16:752—763.

Сведения об авторах:

Андреев Татьяна Ивановна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: tanyandr00@mail.ru

Киселева Софья Валентиновна — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая научно-исследовательской лабораторией возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: k_sophia_v@mail.ru

Рафикова Юлия Юрьевна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: ju.rafikova@gmail.com

Тулегенова Айнура Арастынбековна — аспирант научно-исследовательской лаборатории возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: ainur18.93@list.ru

Information about authors:

Andreenko Tatyana I. — Ph.D. (Biolog.), Senior Researcher at Research Laboratory of Renewable Energy Sources of Geographical Faculty, Lomonosov Moscow State University, e-mail: tanyandr00@mail.ru

Kiseleva Sofiya V. — Ph.D. (Phys.-Math.), Leading Researcher, Head of Research Laboratory of Renewable Energy Sources of Geographical Faculty, Lomonosov Moscow State University, e-mail: k_sophia_v@mail.ru

Rafikova Yuliya Yu. — Ph.D. (Geograph.), Senior Researcher at Research Laboratory of Renewable Energy Sources of Geographical Faculty, Lomonosov Moscow State University, e-mail: ju.rafikova@gmail.com

Tulegenova Ainur A. — Ph.D.-student of Research Laboratory of Renewable Energy Sources of Geographical Faculty, Lomonosov Moscow State University, e-mail: ainur18.93@list.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 02.02.2022

The article received to the editor: 02.02.2022