



УДК 004.9:662.767.2

Н.В. Арефьев, В.Л. Баденко, А.В. Масликова

ОЦЕНКА БИОГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

N.V. Arefiev, V.L. Badenko, A.V. Maslikova

ASSESSMENT OF THE BIOGAS POTENTIAL OF LIVESTOCK WASTE IN THE LENINGRAD REGION

Биогазовые технологии приобрели широкое распространение в мире из-за их относительной простоты, дешевизны и возможности получения не только ценного энергетического топлива, но и компоста (высокоэффективное удобрение) в качестве побочного продукта. В работе для оценки перспектив развития биогазовой энергетики муниципальных образований Ленинградской области используются расчетные показатели биогазового потенциала отходов животноводства и птицеводства. Результаты представлены с использованием технологий геоинформационных систем (ГИС), созданы тематические карты биогазового потенциала, определены районы, которые можно рассматривать в качестве наиболее перспективных для размещения биогазовых установок.

БИОГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ; ОТХОДЫ ЖИВОТНОВОДСТВА; ГИС-ТЕХНОЛОГИИ; ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ.

Biogas technologies have become widespread in the world because of their relative simplicity, low cost, and possibility to obtain valuable energy consumption as well as compost (valuable fertilizer) as a by-product. The paper estimates the biogas potential of livestock and poultry waste in the Leningrad region and assesses the prospects to use biogas in energy production. Results of the calculations are presented using the technology of geographic information systems (GIS). GIS allow visualizing the spatial distribution of the biogas potential throughout the region and creating thematic maps in the GIS environment for the regional biogas potential. These maps help identify areas which could be considered as the most prospective to site biogas plants.

GIS-TECHNOLOGY; BIOGAS POTENTIAL; LIVESTOCK WASTE; LENINGRAD REGION.

Во многих странах мира большое внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для энергообеспечения автономных потребителей, централизованное энергоснабжение которых неэффективно ввиду небольших нагрузок и рассредоточенности [1, 2]. Для таких потребителей одним из перспективных и доступных возобновляемых энергоресурсов, обладающим существенным энергетическим потенциалом, может служить биомасса, под которой понимают совокупную массу растительных и животных организмов [3, 4]. Традиционно в качестве биотоплива в основном используется древесина — 80 % от общего объема используемой в мире биомассы [5]. В последнее время в качестве стабильного и дешевого мест-

ного энергетического ресурса все чаще стала применяться недревесная часть биомассы — различные органические отходы, образующиеся в большом количестве и практически не используемые. Особый интерес представляют сельскохозяйственные отходы ввиду их накопления в местах потребления энергоресурсов. Их существенный энергетический потенциал и, как правило, однородность состава позволяют получать биогаз сравнительно высокого качества путем их естественного разложения. Биогазовые технологии приобрели широкое распространение в мире из-за их относительной простоты, дешевизны и возможности получения не только ценного энергетического топлива, но и удобрения в качестве побочного продукта [6].

В России перспективным ресурсом для производства биогаза и получения в качестве побочного продукта компоста являются отходы животноводства, которых ежегодно образуется около 350 млн т [7]. В среднем из одной тонны навоза можно получить 25–35 м³ биогаза, содержащего около 60 % метана [8]. Следует особо отметить, что производство биогаза из навоза позволяет решать также и экологические проблемы переработки отходов животноводства. Существуют оценки биогазового потенциала отходов агропромышленного комплекса страны, дающие общее представление об энергетических ресурсах отдельных субъектов Российской Федерации, а в целом по стране биогазовый потенциал составляет около 73 млрд м³/год [9]. Получение биогаза требует в каждом отдельном случае технико-экономического, экологического, социально-экономического анализа и расчета, а также учета местных условий и практической реализуемости технических решений [5].

Для оценки перспектив биоэнергетических ресурсов необходимо использовать передовые компьютерные технологии и, в частности, технологии географических информационных систем (ГИС). Основная отличительная черта ГИС — то, что для каждого объекта в базе данных ГИС хранится информация не только о его характеристиках, но и координатная (пространственная) привязка к конкретному местоположению на поверхности Земли. В нашей стране в настоящее время реализуется проект ГИС «Возобновляемые источники энергии России». Цель создания этой ГИС — сбор, обработка, анализ и визуализация в виде тематических карт пространственно-привязанной информации о существующих и потенциальных ВИЭ. Разрабатываемая ГИС в основном предназначена для оценки возможности эффективного использования ВИЭ для энергообеспечения регионов [10]. Для этого необходимо сформировать обширные массивы пространственных данных о территории регионов, которые отражают потенциал ВИЭ, природные ресурсы, социально-экономические характеристики регионов. Создание такой ГИС позволит применять ее как инструмент информационной поддержки принятия решений по развитию ВИЭ на уровне субъектов Российской Федерации. Однако использование этой ГИС для целей авто-

номных потребителей малой мощности в местах их конкретного местоположения затруднено. Особую сложность представляет определение биоэнергетического потенциала сельскохозяйственных отходов вследствие их разнообразности, неравномерности распределения по территории, нестабильности накопления, большой зависимости от природно-климатических и социально-экономических условий. Для конкретного региона использование математико-статистических и картографических методов требует иметь подробную картину пространственного распределения энергетического потенциала каждого вида отходов по его территории на уровне муниципалитетов и отдельных хозяйств. Можно отметить, что ГИС-технологии уже достаточно широко применяются для оценки биогазового потенциала отходов в ряде европейских стран при пространственном анализе распределения ресурсов и обосновании размещения биогазовых установок в конкретных регионах [3, 8, 11]. Этому способствуют наличие и доступность необходимой информации, стабильность производства сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, можно сделать вывод, что актуальна задача применения ГИС-технологий для оценки биогазового потенциала сельскохозяйственных отходов на уровне муниципальных образований и конкретных хозяйств. В статье решается такая задача для муниципальных образований Ленинградской области, обладающей развитым сельским хозяйством и крупной животноводческой базой. Это один из немногих регионов России, сохранивший в условиях реформ крупнотоварный сектор сельхозпроизводства — до 75 % всей продукции сельскохозяйственных предприятий. На долю животноводства приходится около 80 % валовой продукции, производимой в сельскохозяйственных предприятиях [12]. Следует отметить, что животноводство — наиболее существенный и стабильный источник органосодержащих отходов в регионе.

При оценке биогазового потенциала отходов рекомендуется различать валовой, технический и экономический потенциал [9]. Валовой потенциал органических отходов животноводства рассчитывают на все имеющиеся поголовья по видам скота по всем категориям хозяйств. Ва-

ловой биоэнергетический потенциал отходов птицеводства определяют с учетом поголовья кур-несушек и бройлеров. Технический потенциал представляет часть валового потенциала, который непосредственно может быть реализован для получения биогаза. Экономический — это часть технического потенциала, которая может быть эффективно использована. В статье дана сравнительная оценка валового биогазового потенциала отходов животноводства и птицеводства на уровне административных районов. Поскольку учет отходов в Ленинградской области практически не ведется, их объемы определялись расчетным путем. Для этого были использованы статистические данные по районам Ленинградской области о численности различных видов домашних животных и птицы в конкретных сельскохозяйственных предприятиях, а также информация об ориентировочном удельном выходе биогаза из отдельных ви-

дов отходов [5]. Расчет годового валового энергетического потенциала отходов животноводства и птицеводства производился с использованием известных методов [16] с учетом количества образующегося навоза определенного вида и его основных характеристик: влажности, содержания органического вещества, удельного выхода биогаза и метана, а также его топливного эквивалента.

В таблице приведены результаты расчета суммарного валового биогазового потенциала отходов животноводства и птицеводства сельскохозяйственных предприятий по административным районам Ленинградской области, которые заносились в базу данных ГИС для дальнейшего анализа и построения тематических карт. Суммарный объем биогаза для каждого муниципального образования складывался из расчетного биогазового потенциала отходов крупного рогатого скота, свиноводства и птицеводства.

Расчетные значения суммарного валового биогазового потенциала отходов животноводства и птицеводства

Район	Суммарный объем биогаза, тыс. м ³ /год	Топливный эквивалент, т у.т./год
Бокситогорский	250	180
Волосовский	9 500	6 900
Волховский	5 100	3 700
Всеволожский	6 400	4 600
Выборгский	18 100	13 200
Гатчинский	16 800	12 200
Кингисепский	3 800	2 80
Киришский	2 500	1 800
Кировский	440	300
Лодейнопольский	840	600
Ломоносовский	5 800	4 200
Лужский	5 300	3 90
Подпорожский	50	40
Приозерский	8 100	5 900
Сланцевый	1 900	1 400
Тихвинский	2 600	1 900
Тосненский	14 700	10 700

Например, суммарный объем биогаза для Гатчинского района — 16,8 млн м³/год — складывается из 7,3 млн м³/год от крупного рогатого скота, 2,4 млн м³/год от свиноводства и 7,1 млн м³/год от птицеводства. Расчетный суммарный валовой биогазовый потенциал Ленинградской области в топливном эквиваленте составляет более 74 тыс. т у.т./год. Анализ данных таблицы показывает, что наибольшим валовым биогазовым потенциалом обладают Выборгский, Гатчинский и Тосненский районы — более 10 тыс. т у.т./год каждый.

В таблице не представлены результаты расчетов по отдельным видам отходов, но они имеются в базе данных ГИС. Согласно расчетным данным значительным валовым биогазовым потенциалом отходов обладают следующие районы Ленинградской области: от крупного рогатого скота (КРС) — Волосовский (9,5 млн м³/год), Гатчинский (7,3 млн м³/год), Приозерский

(7,0 млн м³/год); от свиноводства — Тосненский (8,4 млн м³/год), Гатчинский (2,4 млн м³/год), Приозерский (1,1 млн м³/год); от птицеводства — Выборгский (13 млн м³/год), Гатчинский (7,1 млн м³/год).

На рис. 1, 2 показаны тематические карты распределения суммарного валового биогазового потенциала отходов животноводства и птицеводства, а также их топливного эквивалента по районам Ленинградской области. Создаваемая ГИС базируется на исследованиях, выполненных в СПбГПУ [14–16]. При ее формировании используется государственная топографическая основа Ленинградской области, состоящая из стандартного набора картографических слоев, зарегистрированных в географической системе координат.

Для создания базы данных ГИС использовалась информация, которая имеется в администрации Ленинградской области по отдельным

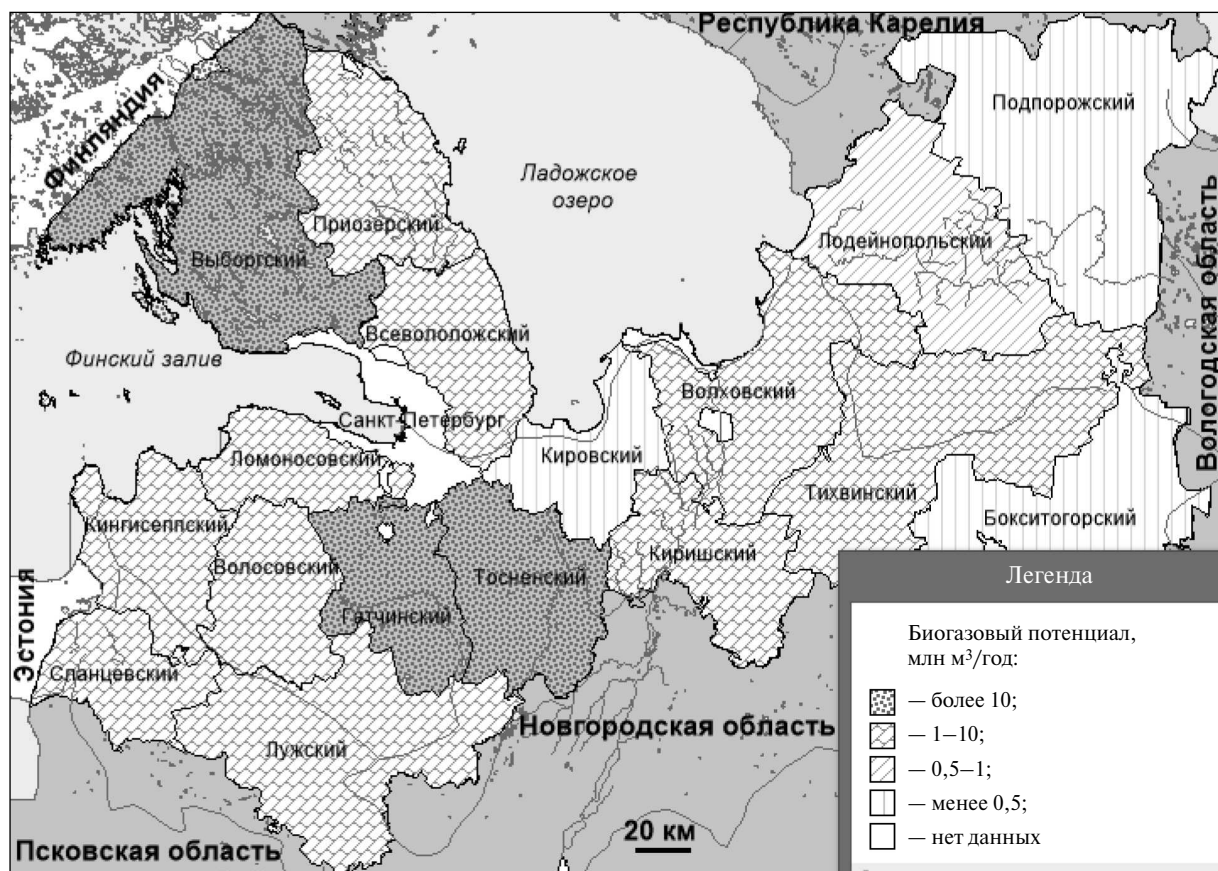


Рис. 1. Расчетный биогазовый потенциал отходов животноводства и птицеводства по районам Ленинградской области

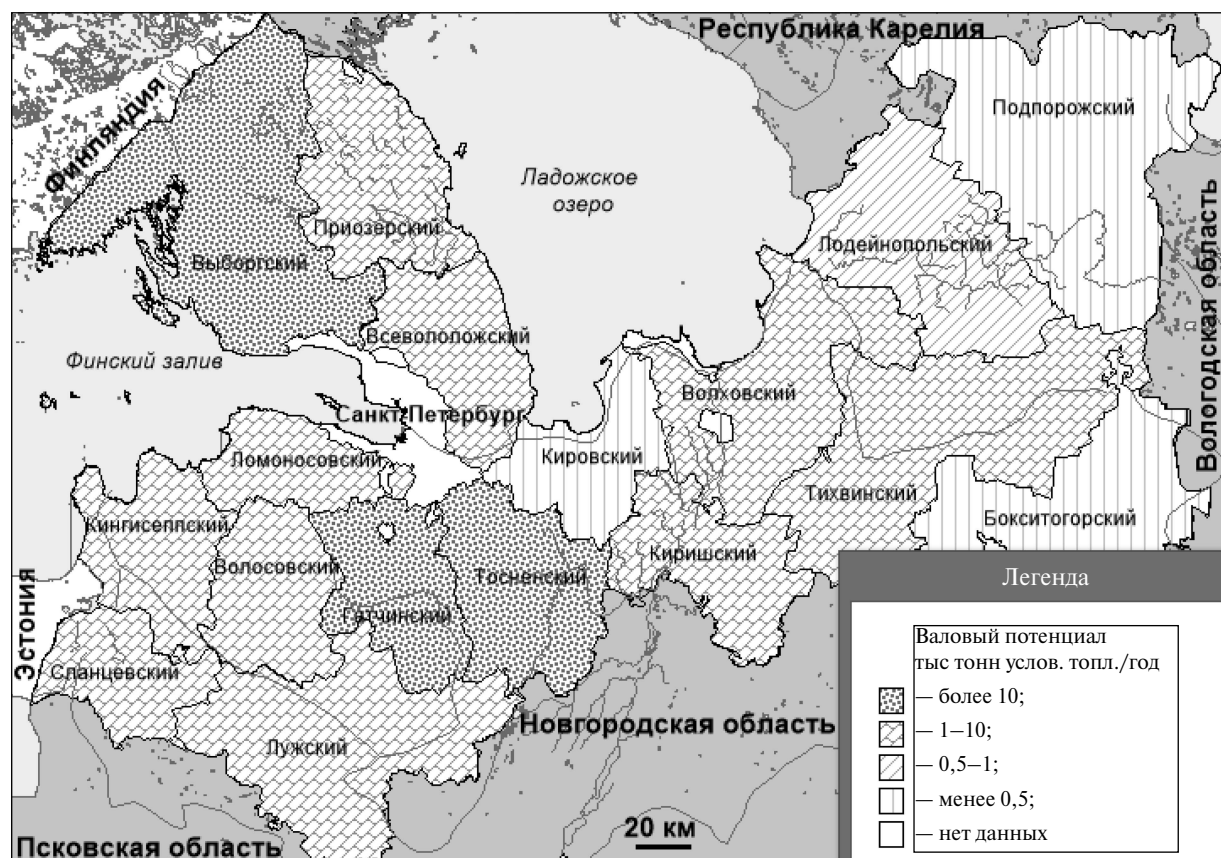


Рис. 2. Расчетный топливный эквивалент биогаза из отходов животноводства и птицеводства по районам Ленинградской области.

хозяйствам и муниципальным образованиям. Были созданы соответствующие объекты, распределенные по тематическим слоям, которые отражают размещение животноводческих и птицеводческих хозяйств и их основные показатели. На основе этих данных в среде ГИС для каждого объекта (муниципального образования) был вычислен биогазовый потенциал образующихся отходов животноводства и птицеводства. Разработанная ГИС позволяет с помощью тематических карт анализировать пространственное распределение биогазового потенциала региона и обеспечивать информационную поддержку принятия решений по выбору мест для создания биогазовых установок в районах с относительно высоким потенциалом.

Выполнена оценка годового валового биогазового потенциала отходов животноводства

и птицеводства муниципальных образований Ленинградской области. Создана соответствующая база данных ГИС. Определены районы, обладающие значительным биогазовым потенциалом — Выборгский, Гатчинский и Тосненский, которые можно рассматривать в качестве наиболее перспективных для строительства биогазовых установок. Представленные тематические карты, построенные в среде ГИС, дают наглядное представление о пространственном распределении валового биогазового потенциала по районам Ленинградской области и могут служить инструментом при планировании размещения биогазовых установок. При этом использование отходов животноводства для производства биогаза позволяет не только эффективно решать энергетические проблемы удаленных территорий, но и получать качественное удобрение, а также улучшать экологическую обстановку, снижая биогенное загрязнение земель и водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фортов В.Е., Попель О.С.** Энергетика в современном мире. М.: Интеллект, 2011. 167 с.
2. **Елистратов В.В.** Возобновляемая энергетика. СПб.: Наука, 2013. 308 с.
3. **Cvetković S., Radoičić T.K., Vukadinović B., Kiječčanin M.** Potentials and status of biogas as energy source in the Republic of Serbia // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. Vol. 31. P. 407–416.
4. **Rajendran K., Aslanzadeh S., Taherzadeh M.J.** Household Biogas Digesters—A Review // *Energies*. 2012. Vol. 5. P. 2911–2942.
5. **Масликов В.И.** Биогаз — перспективный источник энергии // *Твердые бытовые отходы*. 2006. № 8. С. 32–33.
6. **Артюшин А.А., Савельев Г.С.** Будущее за биоэнергетикой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. № 6. С. 34–39.
7. *Биоэнергетика в России в XXI веке / Российское энергетическое агентство ФГБУ РЭА Минэнерго РФ*. М., 2012. 37 с.
8. **Batzias F.A., Sidiras D.K., Spyrou E.K.** Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method // *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30 (8). P. 1161–1176.
9. **Васильев Ю.С., Безруких П.П., Елистратов В.В., Сидоренко Г.И.** Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии в России. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 251 с.
10. **Киселева С., Рафикова Ю., Шакун В.** Использование ГИС-технологий в области возобновляемой энергетики // *III Международная научно-практическая конференция «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий»*. 2013. С. 97–106.
11. **Schreurs E., Voets T., Thewys T.** GIS-based assessment of the biomass potential from phytoremediation of contaminated agricultural land in the Campine region in Belgium // *Biomass and bioenergy*. 2011. Vol. 35. P. 4469–4480.
12. Государственная программа Ленинградской области Развитие сельского хозяйства Ленинградской области на 2013–2020 годы. Опубликовано: 25 Ноябрь 2013.
13. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии / Германия: Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 2010. 118 с.
14. **Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Осипов Г.К.** Управление энерго-водохозяйственными системами на основе моделирования в среде ГИС // *Труды СПбГТУ*. 1998. № 475. С. 42–47.
15. **Арефьев Н.В., Баденко В.Л.** Геоинформационные системы в природообустройстве. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 110 с.
16. **Арефьев Н.В., Баденко В.Л., Латышев Н.К.** Геоэкологические подходы к разработке информационно-аналитических систем для гидромелиоративного строительства и природообустройства // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2010. № 4(110). С. 205–210.

REFERENCES

1. **Fortov V.Ie., Popel O.S.** Energetika v sovremennom mire. M.: Intellekt, 2011. 167 s. (rus.)
2. **Ielistratov V.V.** Vozobnovlyayemaya energetika. SPb.: Nauka, 2013. 308 s. (rus.)
3. **Cvetković S., Radoičić T.K., Vukadinović B., Kiječčanin M.** Potentials and status of biogas as energy source in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 31. P. 407–416.
4. **Rajendran K., Aslanzadeh S., Taherzadeh M.J.** Household Biogas Digesters—A Review. *Energies*. 2012. Vol. 5. P. 2911–2942.
5. **Maslikov V.I.** Biogaz — perspektivnyy istochnik energii. *Tverdye bytovyye otkhody*. 2006. № 8. S. 32–33. (rus.)
6. **Artyushin A.A., Savelyev G.S.** Budushcheye za bioenergetikoy. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. № 6. S. 34–39. (rus.)
7. *Bioenergetika v Rossii v XXI veke / Rossiyskoye energeticheskoye agentstvo FGBU REA Minenergo RF*. M., 2012. 37 s. (rus.)
8. **Batzias F.A., Sidiras D.K., Spyrou E.K.** Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*. 2005. Vol. 30 (8). P. 1161–1176.
9. **Vasiliev Iu.S., Bezrukikh P.P., Ielistratov V.V., Sidorenko G.I.** Otsenki resursov vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Rossii. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2008. 251 s. (rus.)
10. **Kiseleva S., Rafikova Yu., Shakun V.** Ispolzovaniye GIS-tekhnologiy v oblasti vozobnovlyayemoy energetiki. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Prikladnyye aspekty geologii, geofiziki i geoekologii s ispolzovaniyem sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy»*. 2013. S. 97–106. (rus.)
11. **Schreurs E., Voets T., Thewys T.** GIS-based assessment of the biomass potential from phytoremediation of contaminated agricultural land in the Campine region in Belgium. *Biomass and bioenergy*. 2011. Vol. 35. P. 4469–4480.

12. Gosudarstvennaya programma Leningradskoy oblasti Razvitiye selskogo khozyaystva Leningradskoy oblasti na 2013–2020 gody. Opublikovano: 25 Noyabr 2013.

13. Biogaz na osnove vozobnovlyayemogo syrya. Sravnitelnyy analiz shestidesyati odnoy ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii. Germaniya: Spetsialnoye agentstvo vozobnovlyayemykh resursov (FNR). 2010. 118 s.

14. **Arefyev N.V., Badenko V.L., Osipov G.K.** Upravleniye energo-vodokhozyaystvennymi sistemami na os-

nove modelirovaniya v srede GIS. *Trudy SPbGTU*. 1998. № 475. S. 42–47. (rus.)

15. **Arefyev N.V., Badenko V.L.** Geoinformatsionnyye sistemy v prirodoobustroytve. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2008. 110 s. (rus.)

16. **Arefyev N.V., Badenko V.L., Latyshev N.K.** Geoekologicheskiye podkhody k razrabotke informatsionno-analiticheskikh sistem dlya gidromeliorativnogo stroitelstva i prirodoobustroytva. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2010. № 4(110). S. 205–210. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АРЕФЬЕВ Николай Викторович — доктор технических наук заведующий кафедрой водохозяйственного и гидротехнического строительства Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: arefiev@cef.spbstu.ru

БАДЕНКО Владимир Львович — доктор технических наук профессор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: vbadenko@gmail.com

МАСЛИКОВА Анна Владимировна — аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: avmaslikova@gmail.com

AUTHORS

AREFIEV Nikolai V. St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: arefiev@cef.spbstu.ru

BADENKO Vladimir L. St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: vbadenko@gmail.com

MASLIKOVA Anna V. St. Petersburg State Polytechnical University. 29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: avmaslikova@gmail.com