УДК 631.474

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-137-156

Ссылки для цитирования:
Какпо Р.С.К., Савин И.Ю. Ресурсный потенциал почв Бенина для возделывания кукурузы // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 137-156. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-137-156
Cite this article as:
Kakpo R.S.K., Savin I.Yu., Resource potential of Beninese soils for maize cultivation, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 108, pp. 137-156, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-137-156
Благодарность:
Исследования проведены при финансовой поддержке гранта РНФ (грант № 20-67-46017).
Acknowledgments:
The studies were carried out with the financial support of the Russian Science Foundation in the framework of the scientific project No. 20-67-46017.

Ресурсный потенциал почв Бенина для возделывания кукурузы

© 2021 г. Р.С.К. Какпо[1], И.Ю. Савин[1,2,3*]

[1]*Институт экологии РУДН, Россия,*
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

[2]*ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Россия,*
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2.

[3]*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,*
308015 Белгород, ул. Победы, 85,
[*]*http://orcid.org/0000-0002-8739-5441, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.*

Поступила в редакцию 09.09.2021, *после доработки* 17.09.2021, *принята к публикации* 20.09.2021

Резюме: В связи с ростом населения потребность Республики Бенин в увеличении производства продуктов питания существенно возрастает. Кукуруза является основной культурой, которая возделывается в стране непосредственно для питания населения. Научное обоснование для расширения площадей посева кукурузы является важной хозяйственной

задачей. Создана база данных ГИС, включающая всю необходимую информацию о состоянии почв и земель страны для оценки их ресурсного потенциала применительно к возделыванию кукурузы (свойства почв, климата и рельефа, предопределяющие возможности возделывания кукурузы). Проведено геоинформационное моделирование пригодности почв и земель для посева кукурузы. Выявлены наиболее пригодные земли. Оценена возможность расширения площадей в стране под возделывание кукурузы. Установлено, что самыми большими ресурсами (в долях от земельного фонда) для расширения посевов кукурузы обладают следующие коммуны Бенина: Тори-Боссито (96%), Товиклин (92.41%), Матери (90.31%), Кобли (89.25%), Уэйогбе (87.99%), Параку (86.57%), Джакотомей (85.66%), Авранку (85.46%), Аллада (84.13%), Бохикон (82.24%), Сакете (81.85%), За-Кпота (78.08%), Акпо-Миссерете (77.96%), Бопа (77.15%), Кпомассе (75.82%) и Ифании (75.03%). Полученные данные позволили сделать вывод, что теоретически валовой сбор кукурузы в Бенине может быть увеличен в 5 раз (от 1 514 913 т до 5 513 947 т) только за счет увеличения площади посевов.

Ключевые слова: почвенные ресурсы, западная экваториальная Африка, оценка пригодности, кукуруза.

Resource potential of Beninese soils for maize cultivation

© 2021 R. S. K. Kakpo[1], I. Yu. Savin[1,2,3*]

[1]*Institute of Ecological Engineering of RUDN,*
8/2 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation.

[2]*Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",*
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation.

[3]*Belgorod State National University,*
85 Pobedy Str., Belgorod 308015, Russian Federation,
[*]*http://orcid.org/0000-0002-8739-5441, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.*

Received 09.09.2021, *Revised* 17.09.2021, *Accepted* 20.09.2021

Abstract: Due to the growth of the population, the need of the Republic of Benin to increase food production is growing significantly. Maize is the main cultivated crop in the country, being also the main item of nutrition. The scientific rationale for expanding the area of maize cultivation is an important economic task. GIS database was created, which includes all the necessary

information on soil, relief, and climate conditions in the country for assessment the resource potential of lands for maize cultivation. Geoinformation modeling of soil and land suitability for maize cultivation was performed. The most suitable lands were identified. Possibility to expand areas for maize cultivation in the country was assessed. It was found that the largest resources (in parts of the land fund) for the expansion of maize cultivation are in the following communities of Benin: Tory-Bossito (96%), Toviklin (92.41%), Materi (90.31%), Kobli (89.25%), Wayogbe (87.99), Parakou (86.57%), Jaco-Tomey (85.66%), Avrankou (85.46%), Allada (84.13%), Bohicon (82.24%), Sakete (81.85%), Za Kpota (78.08%), Akpo Misserete (77.96%), Bopa (77.15%), Kpomasse (75.82%) and Ifania (75.03%). The findings led us to conclude that, theoretically, the gross maize production in Benin could be increased fivefold (from 1,514,913 tons to 5,513,947 tons) only by expanding the cultivation area.

Keywords: soil evaluation, soil resources, western equatorial Africa, maize.

ВВЕДЕНИЕ

В Бенине сельское хозяйство имеет большое экономическое и социальное значение. Сельское хозяйство занимает более 70% рабочей силы страны и 40% в валовом внутреннем продукте. Кроме того, сельское хозяйство приносит более 90% экспортных доходов. Объем сельскохозяйственного производства в Бенине в 2019–2020 гг. вырос на 13.2% по сравнению с предыдущим. В Бенине в 2019–2020 гг. было собрано 1 814 289 т зерна против 1 643 277 т – в 2018–2019 гг., что на 10.44% больше. В то же время объем производства корней и клубней (в основном маниок и ямс) вырос на 14.14% (6 128 288 т в 2017 г. по сравнению с 6 994 622 т в 2019 г.). При этом возделывание по-прежнему основано преимущественно на традиционных системах земледелия (например, сменное земледелие) с незначительным использованием удобрений и орошения. Урожай кукурузы в стране сильно зависит от климатических и почвенных условий. В сельскохозяйственном пользовании находится 62.5% территории страны, но лишь 20% почв возделываются эффективно (Sohou, 2014).

Основная зерновая культура Бенина – кукуруза (*Zea mays* L.). Обычно она выращивается на юге и в центре страны (департаменты Уэме, Моно, Атлантике и Зу) (Igué, 1983). Употребляется в пищу в различных формах: зеленая кукуруза для непосред-

ственного потребления населением, как мука для приготовления местных блюд, сырые зерна для производства “mawé” или “ogui” (традиционная ферментированная мука), которые служат основой для приготовления различных видов каши (акасса, акпан и др.) Согласно данным Министерства сельского развития Бенина, потребление кукурузы на душу населения в год является самым высоким в департаменте Уэме, за которым следует Моно и Атлантический (https://agriculture.gouv.bj/documents?document=rapports).

Спрос на кукурузу в стране постоянно увеличивается в связи с ростом населения. Поэтому актуальной задачей в Бенине является поиск участков для расширения посевов кукурузы. С этой целью предпринимаются попытки оценить пригодность земель под возделывание кукурузы. Подобная оценка была проведена в 1982 г. специалистами ФАО (Van Diepen, 1982). Однако она была сделана с использованием устаревших данных и в достаточно схематичном виде.

В настоящее время для оценки пригодности земель все чаще используются геоинформационные технологии (Иванов и др., 2013, 2014; Sohou, 2014). Особенно следует отметить деятельность ФАО по созданию и развитию баз данных и ГИС в области сельского хозяйства (FAO-UNESCO, 1988).

В России применяются как традиционные подходы (Агроэкологическая оценка…, 2005), так и подходы, построенные на адаптации методологии оценок ФАО (Иванов и др., 2014).

Цель настоящих исследований состояла в оценке пригодности земель Бенина для возделывания кукурузы, основанной на обновленных данных о почвах и распространенности посевов кукурузы в стране, а также на использовании ГИС.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве методологической основы для оценки пригодности земель мы использовали подходы, основанные на идеологии оценки земли ФАО и на геоинформационных технологиях (Иванов и др., 2013).

На первом этапе построения оценочных моделей был проведен отбор свойств земель, которые потенциально могут повлиять на рост кукурузы в пределах Бенина (Van Diepen, 1982; Sys, 1984,

1993). Отбор свойств осуществляли в рамках трех основных блоков: почвенного, климатического и блока рельефа.

Все свойства вносились в базу данных ГИС в качестве атрибутов к растровым картам. К почвенной карте в ГИС была привязана атрибутивная таблица, содержащая информацию о выбранных свойствах для каждого почвенно-географического выдела на карте. Основными источниками наполнения информацией почвенного блока ГИС послужили традиционно составленная и обновленная по космическим снимкам почвенная карта (Какпо, Савин, 2017), научные публикации и фондовые материалы (Igué, 1994; Igué, Youssouf, 1995; Mulder, 2000; Saïdou et al., 2003; 2004; Junge, Skowronek, 2007; Akponikpè et al., 2010; Montcho, 2015; Zossou et al., 2021).

Перечень использованных для анализа свойств почв представлен в таблице 1. Для всех выбранных свойств экспертно составлены оценочные шкалы, состоящие из трех градаций: оптимальное, ограниченно пригодное и непригодное. Интегральная оценка почв получена на основе правила максимальной лимитации.

Дополнительно оценивалась возможность улучшения неоптимальных свойств почв путем проведения мелиоративных мероприятий. С учетом того, что в стране преобладают ферралитные и железисто-марганцевые тропические, часто лессивированные почвы, считалось, что такие свойства, как каменистость и гранулометрический состав почв, являются лимитирующими и труднее всего поддаются коррекции. Неоптимальная величина pH, слабая насыщенность основаниями устраняются посредством специфических агротехнических приемов. Коренными мелиорациями можно устранить влияние таких свойств, как дренированность почв, уровень грунтовых вод, засоленность почв, содержание гипса, карбонатов, подвижного натрия.

Далее оценивалась пригодность земель по климатическим условиям.

Таблица 1. Шкалы свойств почв для оценки пригодности земель для возделывания кукурузы в Республике Бенин
Table 1. Scales of soil properties to assess the eligibility of lands for maize cultivation in the Republic of Benin

Свойство почв	**Класс пригодности**		
	пригодно	**ограниченно пригодно**	**непригодно**
Затопляемость	нет	не более чем на 1 неделю	ежегодно более чем на 1 месяц
Дренированность	хорошо дренированные	средне дренированные	плохо дренированные
Гранулометрический состав	суглинистый	супесчаный	песчаный, глинистый
Каменистость (vol %)	0–15	15–55	> 55
Мощность мелкоземистой толщи (см)	> 75	20–75	< 20
Содержание карбонатов кальция (%)	0–15 %	15–35 %	> 35%
Содержание гипса (%)	0–4%	4–20 %	> 20%
Емкость катионного обмена (cmol/kg)	> 16	< 16	–
Насыщенность обменными основаниями (%)	> 50	20–50	< 20
Сумма основных катионов (cmol/kg)	> 5	2–5	< 2
PH_{H2O}	5.8–6.6	5.2–5.8	> 6.6 и < 5.2
Содержание органического углерода (%)	> 0.4	0.4–0.1	< 0.1
Удельная электропроводность (dS/m)	0–4	4–8	> 8
Засоленность почв (%)	0–15	15–25	> 25

На первом этапе анализа была проведена общая оценка по климату за период 2010–2020 гг. на основе параметров, перечисленных в таблице 2, с учетом ограничений, приведенных в работе Sys et al. (1993), и экспертного анализа, используя следующие правила:

→ класс “**s**”, если 7 лет параметр попадает в класс “пригодно” и не более 1 года – “непригодно”;

→ класс “**o**”, если 7 лет параметр попадает в класс пригодно и не более 2 лет – в класс “непригодно”, а также если не более 7 лет попадает в класс “ограниченно пригодно” и не более 1 года – в класс “непригодно”;

→ класс “**n**”, если более 3 лет параметр попадает в класс “непригодно”.

Таблица 2. Граничные значения климатических свойств для оценки пригодности кукурузы в Республике Бенин
Table 2. Thresholds values of climatic parameters for assessing the suitability of maize for cultivation in the Republic of Benin

Климатические свойства	**Класс пригодности**		
	пригодно	**ограниченно пригодно**	**непригодно**
Количество осадков за период вегетации (мм)	500–1 200	300–500 и > 1200	< 300
Средняя температура за период вегетации (ºС)	18–32	14–18 и 32–40	< 14 и > 40
Минимальная температура за период вегетации (ºС)	12–24	7–12 и 24–30	< 7 и > 30

Условия рельефа также влияют на технические возможности использования земель. В результате реализации пакета программ ГИС была построена карта экспозиции склонов в градусах (для каждого пиксела карты рассчитана величина экспозиции, выраженная в виде азимутального угла). Считалось, что для кукурузы в Бенине ограничения по рельефу отсутствуют или незначительны при преобладающих уклонах местности не более 8°. При 8-12°

влияние уклона можно нивелировать путем использования специфических технологий возделывания культур. При преобладании уклонов местности более 12° возделывание кукурузы возможно лишь после террасирования склонов (но в большинстве случаев в Бенине промышленное возделывание на террасах экономически не оправдано).

На следующем этапе путем совместного анализа (наложения) карт пригодности по почвенным, климатическим и рельефным условиям были получены карты интегральной оценки пригодности (Иванов и др., 2014). Рассматривались два варианта интегральной пригодности земель. В первом варианте представлены результаты оценки земель в их фактическом состоянии без учета возможностей мелиорации. А во втором – с учетом, т. е. при максимально возможном улучшении неоптимальных свойств земель.

После проведения оценки пригодности земель была сделана попытка создать оптимальный вариант размещения посевов кукурузы в стране.

В качестве источника информации о почвах Бенина использовалась Почвенная карта, составленная в 1976 г. под эгидой Министерства кооперации и сельского развития Бенина. Карта была составлена в масштабе 1 : 200 000 на 9 листах. К каждому листу карты прилагается отдельная легенда. Наименования почв даны во французской классификации почв (Faure et al., 1976). Карта была обновлена на основе дешифрирования почв по космическим изображениям Landsat (Какпо, Савин, 2017).

Основным источником наполнения информацией блока ГИС о климате послужила база данных ERA Interim (ECMWF) (EC-JRC-MARS data, production by MeteoConsult (Nl) ECWMF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) model outputs (https://ec.europa.eu/jrc/en/mars).

Основой блока данных о рельефе является цифровая модель рельефа (ЦМР). В качестве ЦМР для Республики Бенин использовались данные, полученные в рамках программы Национального Космического Агентства США (БАСА) SRTM (Радарная Топографическая Миссия Шаттлов) (http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp) с пространственным разрешением 90 м на местности.

Также использовались статистические данные о площадях сева и урожайности кукурузы на уровне департаментов за 2017–2018 гг. и векторные карты границ коммун и департаментов страны из базы данных GAUL (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/FAO_GAUL_2015_level1#terms-of-use).

Границы департаментов и коммун Бенина соответствуют информации, представленной на сайте https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%91%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B0 .

Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ Statistica 6.0. Работа со спутниковыми изображениями и почвенной картой проводилась в ГИС ILWIS 3.3. (https://www.itc.nl/ilwis/download/ilwis33/).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного анализа построены карты пригодности земель Бенина для возделывания кукурузы по рельефу, климату и по почвам с учетом лимитирующих параметров, а также две интегральные карты оценки пригодности (рис. 1–4).

Оценка почвенных условий показала, что оптимальные земли для промышленного возделывания кукурузы встречаются в департаментах Боргу (73.50% земель оптимально), Атлантический (70.27%), Плато (62.84%), Моно (61.11%) и Коллин (52.34%). Территории с большой частью ограниченно пригодных почв располагаются на северо-западе страны. Это департаменты Алибори (77.85%), Донга (63.24%) и Атакора (52.42%). Департамент с наихудшими условиями для возделывания кукурузы – Литтораль (65.87%), где находится экономическая столица страны Котону. Суммарно 43.82% территории Бенина пригодны по почвенным условиям для возделывания кукурузы без ограничений, а около 15% – непригодны. При этом около 55% ограниченно пригодных почв и 15% почв, непригодных по почвенным свойствам, могут быть улучшены путем проведения мелиоративных мероприятий.

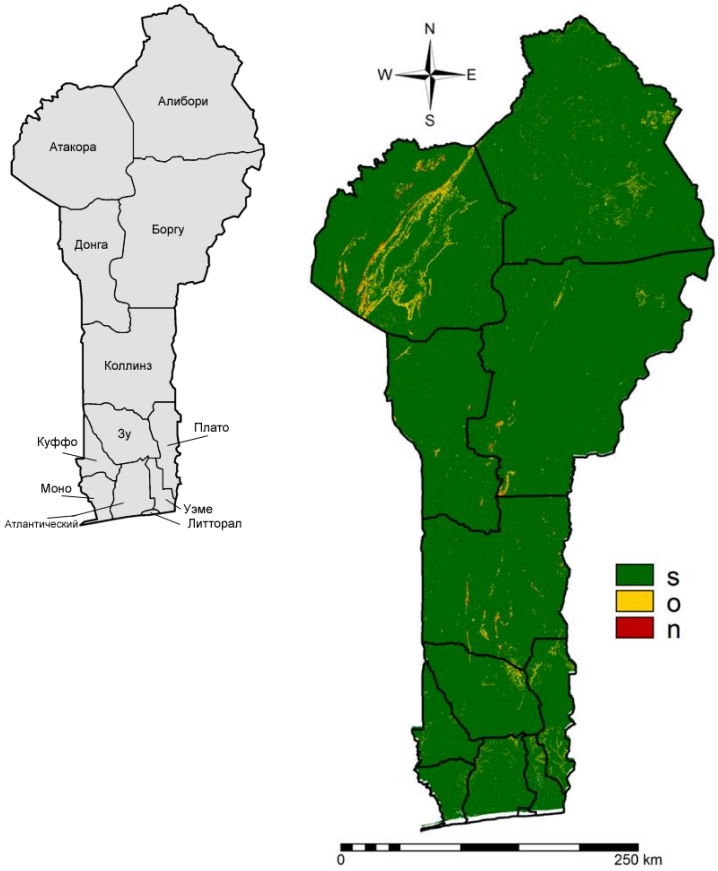

Рис. 1. Карта оценки пригодности по рельефу (**s** – пригодно без ограничений, **o** – ограниченно пригодно, **n** – непригодно). Слева вверху показано деление Бенина на департаменты (автор врезки Tigran Mitr am: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Benin_departments_named.png, CC BY-SA 3.0, https://ru.wikipedia.org/w/index.php?curid=1232385).
Fig. 1. Map of lands eligibility from the aspect of relief (**s** – suitable without limitations, **o** – suitable to a limited extent, **n** – unsuitable). The top left shows the division of Benin into departments (by Tigran Mitr am: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Benin_departments_named.png, CC BY-SA 3.0, https://ru.wikipedia.org/w/index.php?curid=1232385).

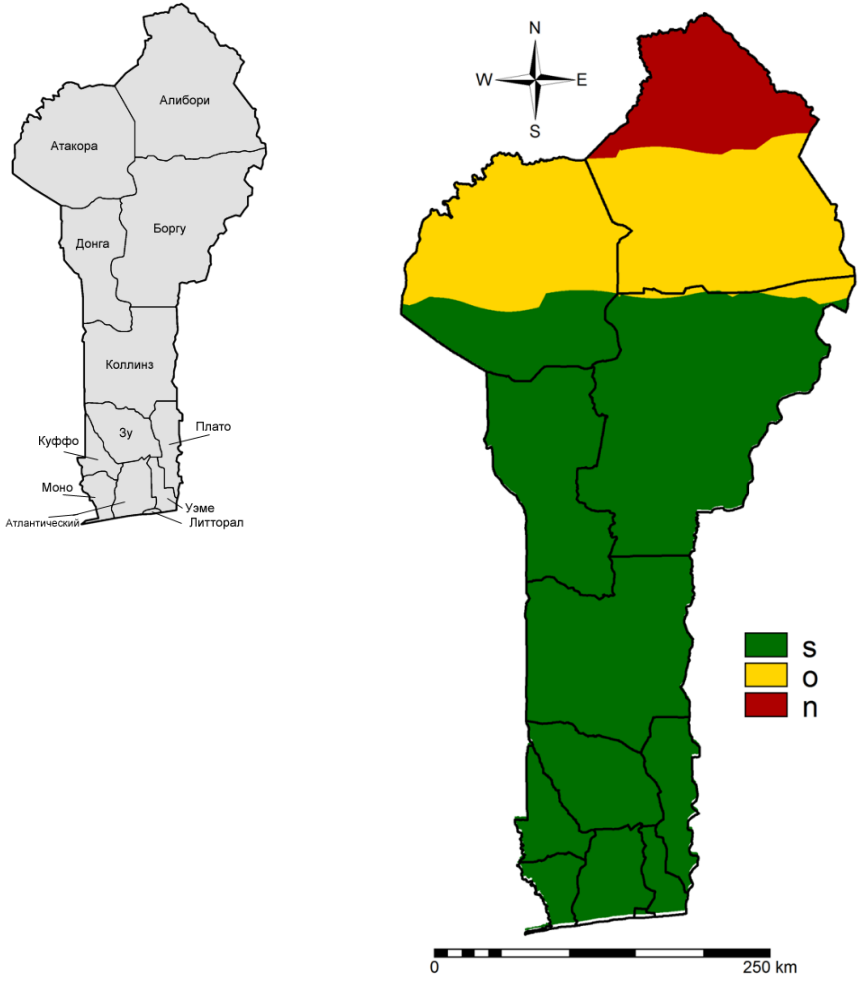

Рис. 2. Карта оценки пригодности по климату (**s** – пригодно без ограничений, **o** – ограниченно пригодно, **n** – непригодно). Пояснения по врезке см. рис. 1.

Fig. 2. Map of lands eligibility from the aspect of climate (**s** – suitable without limitations, **o** – suitable to a limited extent, **n** – unsuitable). Sidebar information is given in Fig. 1.

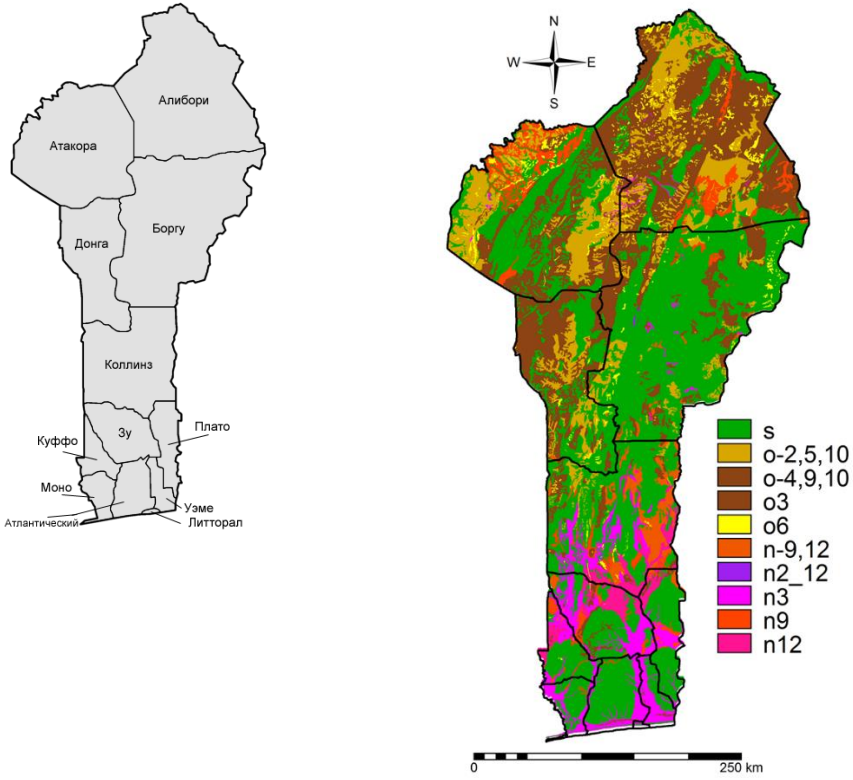

Рис. 3. Карта оценки пригодности почв (**s** – пригодно, **o-2,5,10** – ограниченно пригодно (соответственно, по уровню грунтовых вод, мощности мелкоземистой толщи + сумме оснований), **o3** – ограниченно пригодно по гранулометрическому составу, **o6** – огр. пригодно по содержанию карбонатов, **o-4,9,10** – ограниченно пригодно по (каменистости почвы + степени насыщенности основаниями + сумме основных катионов), **n-9,12** – ограниченно пригодно по (степени насыщенности основаниями + содержанию органического углерода), **n2_12** – ограниченно пригодно по (уровню грунтовых вод + содержанию органического углерода), **n3** – непригодно по гранулометрическому составу, **n9** – непригодно по степени насыщенности основаниями и **n12** – непригодно по содержанию органического углерода.

Fig. 3. Map of soils eligibility (**s** – suitable, **o-2,5,10** – suitable with limitations in ground water level + thickness of fine-grained layer + total exchangeable bases, respectively; **o3** – suitable with limitations in particle size distribution; **o6** – suitable with limitations in carbonate content; **o-4,9,10** – suitable with limitations in rockiness + base saturation degree + sum of base cations); **n-9,12** – suitable with limitations in base saturation degree + organic carbon content; **n2_12** – suitable with limitations in ground water level + organic carbon content; **n3** – unsuitable in particle size distribution; **n9** – unsuitable in base saturation degree; **n12** – unsuitable in organic carbon content.

Земли с оптимальным для возделывания кукурузы климатом находятся в департаментах: Атлантический, Куффо, Зу, Литтораль, Моно, Веме, Плато и Донга, – 100% этих территорий пригодно по климату и не имеет никаких ограничений для выращивания кукурузы. В основном это южная и северная части страны (73 447.1 км^2), при этом около 37% непригодных по климату земель могут стать пригодными при использовании орошения. Доля климатически непригодных земель составляет 8.42% территории, т. е. 9 731.96 км^2, это самая северная часть страны вблизи зоны Сахель.

На территории Бенина преобладают земли, практически не имеющие ограничений по рельефу (уклонам местности) для возделывания кукурузы.

Так, согласно полученным результатам, около 97% территории страны пригодно без ограничений по рельефу, 100% земель пригодно по рельефу без ограничений в департаментах: Атлантический, Веме, Литтораль и Моно. Около 2% территории имеют ограничения по рельефу, и лишь 1% (244.42 км^2) земель не пригоден по условиям рельефа (в северо-западной части страны с низкими глыбовыми горами Атакора).

С учетом карт оценки пригодности по почвам, климату и рельефу оказалось, что около 43% всех земель страны попадает в класс ограничено-пригодных. Большая доля оптимальных земель для возделывания кукурузы расположена в Атлантическом (69.74%), Боргу (69.65%), Моно (61.5%), Плато (59.92%), Коллин (51.89%) и Куффо (51.24%) департаментах Бенина.

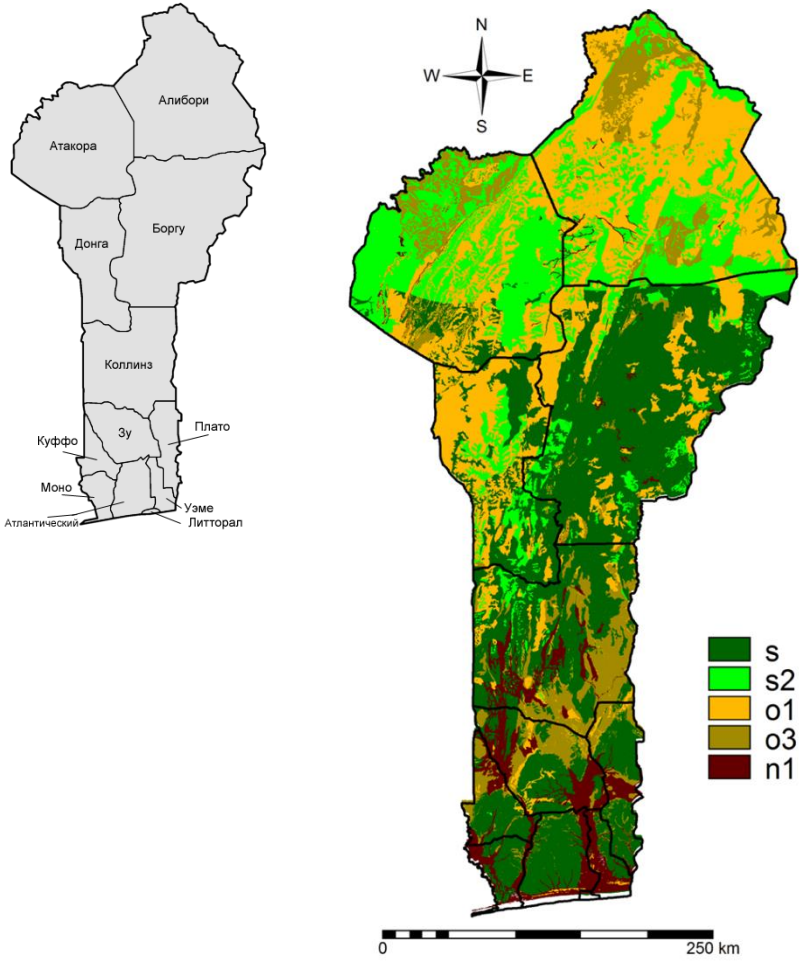

Рис. 4. Карта интегральной оценки пригодности (**s** – пригодно без ограничений, **s2** – пригодно после улучшения, **o1** – ограниченно пригодно и нельзя улучшить, **o3** – ограниченно пригодно после улучшения и **n1** – непригодно и нельзя улучшить).

Fig. 4. Map of integral evaluation of land eligibility (**s** – suitable without limitations, **s2** – suitable after melioration **o1** – suitable to a limited extent and cannot be improved, **o3** – suitable to a limited extent after melioration, **n1** – unsuitable and cannot be improved).

Практически не встречаются пригодные земли в Алибори (0.01%), а в департаменте Атакора их доля составляет лишь 7.63%.

Территории, которые становятся оптимальными по всем параметрам для возделывания кукурузы после улучшения свойств земель, занимают 54.97%. Особенно существенное прибавление пригодных земель с учетом возможности их мелиорации наблюдается в департаментах Донга (16.74%), Алибори (30.88%) и Атакора (49.38%). Суммарно на территории страны, при максимально возможном улучшении свойств земель, площади непригодных участков уменьшаются в четыре раза (с 22.95% до 5.74%). Однако при этом остается большая доля непригодных земель, которые нельзя улучшить, например, в департаменте Веме (55.79%) и департаменте Литтораль (71.91%).

В качестве основных мелиоративных мер в Бенине могут быть использованы такие как:

→ мероприятия для устранения воздействия лимитирующих факторов, связанных с недостатком влаги, например, орошение земель с использованием воды из притоков реки Нигер на севере страны;

→ внедрение специальных агротехнологий для предотвращения эрозии почв, позволяющих преодолеть ограничения по рельефу. В первую очередь, к ним относится распашка поперек склонов, а также сохранение стерни и пожнивных остатков на полях. В качестве перспективной меры можно рассматривать внедрение систем земледелия no-till, но перед их внедрением необходимы дополнительные исследования почв на локальном уровне. Местами можно рекомендовать создание небольших по площади террас;

→ специальные подобранные системы обработки почвы, удобрений, химической и биологической мелиорации почв и земель для улучшения почвенных свойств. С их помощью можно устранить влияние таких негативных факторов, как неоптимальная величина pH, слабая насыщенность основаниями, низкое содержание гумуса, повышенная плотность почв. Другие лимитирующие почвенные свойства, такие как поемность, грансостав, каменистость и щебнистость почв, вряд ли могут быть улучшены с учетом уровня экономического развития страны.

ВЫВОДЫ

Полученные данные свидетельствуют о том, что самыми большими ресурсами (в долях от земельного фонда) для расширения посевов кукурузы обладают следующие коммуны Бенина: Тори-Боссито (96%), Товиклин (92.41%), Матери (90.31%), Кобли (89.25%), Уэйогбе (87.99), Параку (86.57%), Джакотомей (85.66%), Авранку (85.46%), Аллада (84.13%), Бохикон (82.24%), Сакете (81.85%), За-Кпота (78.08%), Акпо-Миссерете (77.96%), Бопа (77.15%), Кпомассе (75.82%) и Ифании (75.03%).

По нашим результатам, наибольший потенциал увеличения урожая за счет коррекции размещения имеют 30 коммун.

Следует отметить, что в большинстве этих коммун фактически уже размещены посевы кукурузы. То есть увеличение посевов кукурузы может идти как за счет интенсивного освоения новых земель (например, в коммунах Тангиета, Керу, Калале, Гогуну, Матери, Джугу, Куанде, Канди, Савалу), так и в более полном использовании ресурсного потенциала земель в тех коммунах, где кукуруза уже возделывается давно (Чауру, Банте, Ндали, Перере, Никки, Калале, Бембереке).

Сопоставление полученных результатов с данными валового сбора кукурузы 2017/2018 г. в стране показывает, что теоретически валовой сбор кукурузы в Бенине может быть увеличен в 5 раз (от 1 514 913 т до 5 513 947 т) только за счет расширения площади ее посевов.

Ресурсный потенциал земель Бенина для возделывания кукурузы в максимальной степени используется в коммунах Атьеме, Уаке, Агеге и Со-Ава. Посев кукурузы не рекомендуется в столице Котону (71.63% неоптимальных земель) и в коммунах Дангбо (55.77%), Гран-Попо (43.09%), Побе (35.48%) и Уида (34.01%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка земель. Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под. ред. *Кирюшина В.И., Иванова А.Л.* М.: Росинформагротех, 2005. 784 с.
2. *Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С.* Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Российская сельскохозяйственная наука. 2013. № 6. С. 41–45.

3. *Иванов А.Л., Савин И.Ю., Егоров А.В.* Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73. С. 29–94. DOI: 10.19047/0136-1694-2014-73-29-94.
4. *Какпо Р., Савин И.Ю.* Возможности распознавания почв бенина по спутниковым изображениям LANDSAT // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2017. Т. 12. № 4. С. 332–340. DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-332-340.
5. *Akponikpè P.B.I., Gérard, B., Michels, K., Bielders, C.L.* Use of the APSIM model in long term simulation to support decision making regarding nitrogen management for pearl millet in the Sahel. European Journal of Agronomy. 2010. Vol. 32. P. 144–154. DOI: 10.1016/j.eja.2009.09.005.
6. *FAO-UNESCO Soil Map of the World. Revised Legend //* World Soil Ressources Report 60. Rome, 1988. 119 p.
7. *Faure P., Viennot M., Dubroecq D.* Carte Pedologique de Reconnaissance Republique Populaire du Benin. 1 : 200,000. Kandi: ORSTOM, 1976.
8. Framework for Land Evaluation. FAO, 1976. 28 p.
9. *Francis T.R., Kannenberg L.W.* Yield stability studies in short – season maize. Adescriptive method for grouping genotypes // Canadian of plant science. 1978. Y. 58. No. 4. P. 1029–1034.
10. Igué A.M. Cartes topographiques du Bénin. Cotonou, Paris, 1983.
11. *Igué A.M.* Utilisation des données pédologiques pour une agriculture durable. Cas des terres de barres au sud Bénin. World Soil Resources Reports. No. 83. P. 109–127. Rome, 1994.
12. *Igué A.M., Youssouf I.* Etude au 1 : 5 000 de l'état de dégradation des sols de la station de Recherche sur les cultures vivrières d'Ina. Etude No. 317. CENAP, Cotonou, 1995.
13. *Junge B., Skowronek A.* Genesis, properties, classification and assessment of soils in Central Benin, West Africa // Geoderma. 2007. Vol. 139. Iss. 3–4. P. 357–370. DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.02.015.
14. *Lambin E.F.* Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. In: Progress in Physical Geography. 1997. Vol. 21. P. 375–393.
15. *Montcho M.* Dégradation et baisse de fertilité des sols au Bénin. Working Paper, Jeunes et agriculture au Benin, Cotonou, Benin. 2015. URL: https://agricultureaufeminin.wordpress.com/2015/01/02/degradation-et-baisse-de-fertilite-des-sols-au-benin/.

16. *Mulder I.* Soil Degradation in Benin: Farmers' Perceptions and Responses Research Series. No. 240. Amsterdam: Tinbergen Institute, Vrije Universiteit Amsterdam, 2000. 241 p.
17. *Sohou E.B.* Disparité spatiale du couvert forestier dans la forêt classée d'Agoua. Proc. Conf. “Lauréat du Prix Meilleur Poster Scientifique IRD”. 2014.
18. *Rossiter D.G.* A theoretical framework for land evaluation // Geoderma. 1996. Vol. 72. P. 165–202.
19. *Saïdou A., Kuyper T.W., Kossou D.K., Tossou R., Richards P.* Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers // NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences. 2004. Vol. 52. Iss. 3–4. P. 349–369. DOI: 10.1016/S1573-5214(04)80021-6.
20. *Saïdou A., Janssen B.H., Temminghoff E.J.M.* Effects of soil properties, mulch and NPK fertiliser on maize yields and nutrient budgets on ferralitic soils in southern Benin Agriculture // Ecosystems and Environment. 2003. Vol. 100. P. 265-273
21. *Sys C.* Principes de classification et d’evaluation des terres pour la Rep. Pop. du Benin. Rapport de mission de consultation FAO. Etude No. 152. CENAP, Cotonou, 1984.
22. *Sys C., van Ranst E., Debaveye I.J., Beernaert F.* Land evaluation Part iii: Crops requirements. General Administration for Development Cooperation. Brussels, 1993. 199 p.
23. *Van Diepen C.* La dégradation des sols en Rép. Du Benin. CENAP-Cotonou, 1982.
24. *Zossou S.R.C., Adegbola P.Y., Oussou B.T., Dagbenonbakin G., Mongbo R.* Modelling smallholder farmers’ preferences for soil fertility management technologies in Benin: A stated preference approach // PLoS ONE. 2021. Vol. 16(6). e0253412. DOI: 10.1371/journal.pone.0253412.

REFERENCES

1. Kiryushin V.I., Ivanov A.L. (Eds), *Agroekologicheskaya otsenka zemel'. Proektirovanie adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya i agrotekhnologii* (Agroecological land assessment. Design of adaptive landscape systems of farming and agricultural technologies), Moscow: Rosinformagrotekh, 2005, 784 p.
2. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoi V.S., Kachestvo pochv Rossii dlya sel'skokhozyaistvennogo ispol'zovaniya (Soil quality in Russia for agricultural use), *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2013, No. 6, pp. 41–45.
3. Ivanov A.L., Savin I.Yu., Egorov A.V., Methodology of land resources assessment for agricultural production in russia (at the example of hop

cultivation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2014, Vol. 73, pp. 29–94, DOI: 10.19047/0136-1694-2014-73-29-94.
4. Kakpo R., Savin I.Y., Possibilities of detecting of soils of Benin based on LANDSAT satellite images, *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2017, Vol. 12, No. 4, pp. 332–340, DOI: 10.22363/2312-797X-2017-12-4-332-340.
5. Akponikpè P.B.I., Gérard B., Michels K., Bielders C.L., Use of the APSIM model in long term simulation to support decision making regarding nitrogen management for pearl millet in the Sahel, *European Journal of Agronomy*, 2010, Vol. 32, pp. 144–154, DOI: 10.1016/j.eja.2009.09.005.
6. *FAO-UNESCO Soil Map of the World. Revised Legend*, World Soil Ressources Report 60, Rome, 1988. 119 p.
7. Faure P., Viennot M., Dubroecq D., *Carte Pedologique de Reconnaissance Republique Populaire du Benin. 1 : 200,000*, Kandi: ORSTOM, 1976.
8. *Framework for Land Evaluation*, FAO, 1976, 28 p.
9. Francis T.R., Kannenberg L.W., Yield stability studies in short – season maize. Adescriptive method for grouping genotypes, *Canadian Journal of plant science*, 1978, Y. 58, No. 4, pp. 1029–1034.
10. Igué A.M., *Cartes topographiques du Bénin*, Cotonou, Paris, 1983.
11. Igué A.M., Utilisation des données pédologiques pour une agriculture durable. Cas des terres de barres au sud Bénin, *World Soil Resources Reports*, No. 83, pp. 109–127, Rome, 1994.
12. Igué A.M., Youssouf I., *Etude au 1 : 5 000 de l'état de dégradation des sols de la station de Recherche sur les cultures vivrières d'Ina*, Etude No. 317, CENAP, Cotonou, 1995.
13. Junge B., Skowronek A. Genesis, properties, classification and assessment of soils in Central Benin, West Africa, *Geoderma*, 2007, Vol. 139, Iss. 3–4, pp. 357–370, DOI: 10.1016/j.geoderma.2007.02.015.
14. Lambin E.F., Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions, In: *Progress in Physical Geography*, 1997, Vol. 21, pp. 375–393.
15. Montcho M., Dégradation et baisse de fertilité des sols au Bénin, Working Paper, *Jeunes et agriculture au Benin*, Cotonou, Benin, 2015, URL: https://agricultureaufeminin.wordpress.com/2015/01/02/degradation-et-baisse-de-fertilite-des-sols-au-benin/.
16. Mulder I., *Soil Degradation in Benin: Farmers' Perceptions and Responses Research Series*, No. 240, Amsterdam: Tinbergen Institute, Vrije Universiteit Amsterdam, 2000, 241 p.
17. Sohou E.B., Disparité spatiale du couvert forestier dans la forêt classée d'Agoua, *Proc. Conf. "Lauréat du Prix Meilleur Poster Scientifique IRD"*, 2014.

18. Rossiter D.G., A theoretical framework for land evaluation, *Geoderma*, 1996, Vol. 72, pp. 165–202.
19. Saïdou A., Kuyper T.W., Kossou D.K., Tossou R., Richards P., Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers, *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 2004, Vol. 52, Iss. 3–4, pp. 349–369, DOI: 10.1016/S1573-5214(04)80021-6.
20. Saïdou A., Janssen B.H., Temminghoff E.J.M., Effects of soil properties, mulch and NPK fertiliser on maize yields and nutrient budgets on ferralitic soils in southern Benin Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 2003, Vol. 100, pp. 265–273.
21. Sys C., Principes de classification et d'evaluation des terres pour la Rep. Pop. du Benin, *Rapport de mission de consultation FAO*, Etude No. 152, CENAP, Cotonou, 1984.
22. Sys C., van Ranst E., Debaveye I.J., Beernaert F., *Land evaluation Part iii: Crops requirements*, General Administration for Development Cooperation, Brussels, 1993, 199 p.
23. Van Diepen C., *La dégradation des sols en Rép. Du Benin*, CENAP-Cotonou, 1982.
24. Zossou S.R.C., Adegbola P.Y., Oussou B.T., Dagbenonbakin G., Mongbo R., Modelling smallholder farmers' preferences for soil fertility management technologies in Benin: A stated preference approach, *PLoS ONE*, 2021, Vol. 16(6), e0253412, DOI: 10.1371/journal.pone.0253412.