

УТОЧНЕНИЕ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Гагина И.С.¹, Нарожняя А.Г.², Буряк Ж.А.²

¹ФГБУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов, Россия (410012, г. Саратов, Театральная площадь, 1), e-mail: gaginairina2008@yandex.ru

²ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, Россия (308015, г. Белгород, ул. Победы, 85), e-mail: narozhnyaya_a@bsu.edu.ru

Представлена методика уточнения агроэкологических характеристик рабочих участков сельскохозяйственных угодий с использованием ГИС-технологий (программного комплекса ArcGIS 10.1) на примере землепользования фермерского хозяйства Аркадакского района Саратовской области. В результате исследований получена цифровая модель рельефа, морфометрические характеристики по ней, определены показатели тепло- и влагообеспеченности, агроэкологического потенциала по И.И. Карманову в зависимости от особенностей мезорельефа и являющиеся индикаторами продуктивности сельскохозяйственных угодий. Уточненные агроэкологические характеристики сельскохозяйственных угодий могут быть использованы при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия, определении нормативной урожайности сельскохозяйственных культур при оценке земель.

Ключевые слова: агроэкологический потенциал, цифровая модель рельефа, сельскохозяйственные угодья, плодородие, агроландшафт, ГИС-технологии, нормативная урожайность.

AN UPDATE AGRO-ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL LANDS WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

Gagina I.S.¹, Narozhnyaya A.G.², Buryak J.A.²

¹FSBEI HPE "Saratov state agrarian university named after N.I. Vavilov", Saratov, Russia (410012, Saratov, Teatralnaia square, 1), e-mail: gaginairina2008@yandex.ru

²FSAEI HPE «Belgorod national research University» Belgorod, Russia (308015, Belgorod, Victory St. 85), e-mail: narozhnyaya_a@bsu.edu.ru

The paper presents a methodology refinement agro-ecological characteristics of the working area of agricultural land with the use of GIS technology (software package ArcGIS 10.1) on the example of agricultural land of Arkadaskii district of Saratov region. Digital terrain model was built as a result of research. It is used for modeling and calculation of morphometric characteristics, temperature and humidity, the agro-ecological potential. Refined agro-ecological characteristics of the agricultural land may be used for the design of adaptive-landscape systems of agriculture, defining the regulatory crop yields in assessing the land.

Keywords: Agro-ecological potential, digital terrain model, farmland, fertility, agrolandscape, GIS technology, regulatory yields.

Развитие сельскохозяйственного землепользования в условиях рыночной экономики связано с постановкой и решением новых задач в науке и практике землеустройства и кадастра. В настоящее время к ним можно отнести следующие: осуществление зонирования земель сельскохозяйственного назначения по степени пригодности их использования в сельском хозяйстве, внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия, обоснование стоимости сельскохозяйственных угодий доходным подходом при проведении рыночной и кадастровой оценок. Их решение невозможно без информационной основы о плодородии сельскохозяйственных угодий. Между тем в условиях устаревания данных почвенных обследований, проведенных в 60-80-х гг. прошлого столетия, всё больше нарастает

необходимость получения новой информации, в т.ч. на основе использования ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли.

Условия обеспеченности растений теплом и влагой в течение вегетационного периода, количество солнечной радиации, поступающей на почву, в том числе фотосинтетически активной радиации, во многом влияют на плодородие почв. Поэтому плодородие почв рассматривается как комплексная величина, зависящая не только от механического состава, физико-химических и водно-физических свойств почвенной массы, но и от климатических факторов [4].

Основными климатическими факторами, влияющими на плодородие почв, являются тепло- и влагообеспеченность. На основной сельскохозяйственной территории России улучшение условий теплообеспеченности положительно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. Показателем теплообеспеченности является сумма активных температур – показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха, превышающий температуру 10 °С, при которой возможны рост и развитие растений.

При оценке климатических условий той или иной территории пользуются многолетними данными близлежащих метеостанций, расположенных на открытых ровных участках. В связи с неоднородностью подстилающей поверхности (неровности рельефа, наличие крупных водоемов, лесных массивов и т.п.) в пределах одной климатической зоны можно выделить большое число «микроклиматических» зон, существенно различающихся между собой по радиационному, тепловому и водному балансам и их составляющим, т.е. по климатическому потенциалу, следовательно, и по условиям произрастания сельскохозяйственных культур [6].

Выполненные в нашей стране и за рубежом разработки [7] показали, что при наличии микроклиматической неоднородности на близких расстояниях климатические ресурсы могут изменяться сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую.

Г.И. Швевса [10] установил, что для широты 50° при угле склона 15° разница в запасах влаги на склонах южной и северной экспозиций составит 33%. При угле 10° эта величина уменьшается до 24%, а при 5° – до 13%. Причем изменение влагозапасов почвы с ростом крутизны склона на северном склоне в сторону увеличения происходит интенсивнее, чем на юге в сторону уменьшения.

В средней полосе южные склоны в период вегетации в среднем на 10-30% теплее, чем равнинная местность. Сумма температур на пологих южных склонах за период вегетации на 120°, на крутых на 300-350° больше, чем на равнинах. Продолжительность безморозного периода в условиях волнистого рельефа на склонах увеличивается на 20-30 дней [5]. На

пологих склонах различие между прямой солнечной радиацией, поступающей на южные и северные склоны весной, составляет 20-30%, осенью – 35-40% [9].

Таким образом, влияние рельефа на плодородие почв можно выразить через пространственное распределение климатических факторов.

Цель исследования – уточнение агроэкологических и микроклиматических характеристик рабочих участков сельскохозяйственных угодий с использованием ГИС-технологий, их дифференциация в зависимости от особенностей мезорельефа.

Материал и методы исследования. Исследования проводились на примере территории фермерского хозяйства Аркадакского района Саратовской области площадью 1365 га, из которых 947 га занимает пашня.

Исследовательская территория расположена в пределах Окско-Донской низменности с преобладанием пологоволнистых форм рельефа и относится к лесостепной зоне умеренно теплой восточно-европейской фации среднерусской провинции. На территории преобладают черноземы обыкновенные.

Климат теплый и незначительно засушливый с гидротермическим коэффициентом – 0,8. Среднегодовая температура воздуха, по многолетним данным (1997-2013 гг.) метеостанции Росташи, 4,3-4,7 °С. Среднегодовое количество осадков 498 мм, сумма активных температур >10 – 2850 °С. Продолжительность вегетационного периода для сельскохозяйственных культур составляет 146-150 дней. Самым жарким месяцем считается июль ($t_{\max}=+41$ °С), самым холодным – январь ($t_{\min}=-41$ °С). На теплый период приходится около 2/3 осадков. Средняя продолжительность безморозного периода 143 дня.

В соответствии с агроклиматическим оценочным зонированием территории Российской Федерации хозяйство относится к первой агроклиматической подзоне Саратовской области с агроклиматическим потенциалом – 6,2 (по результатам IV тура земельно-оценочных и бонитировочных работ 1980-1982 гг.).

Расчетные значения параметров рельефа были получены автоматически путем анализа цифровой модели рельефа размером ячейки 30×30 м, точность которой соответствует топографической карте масштаба 1:25000. Построение цифровой модели рельефа осуществлялось по оцифрованным по топографической карте М 1:25000 горизонталям, линейным и площадным гидрологическим объектам, точечным отметкам рельефа в среде ArcGIS 10.1 [8]. Также были использованы возможности «Калькулятора растра» ArcGIS 10.1, позволившие произвести вычисление по градам, для чего формулы (1)-(5) были записаны с использованием правил и синтаксиса данного инструмента (упрощенные скрипты Python).

Вклад климатических условий в потенциальное плодородие наиболее полно описано в методике определения потенциального плодородия почв, разработанной в Почвенном

институте им. В.В. Докучаева под руководством И.И. Карманова (1982, 1990). Составляющая климатических условий, или агроэкологический потенциал, является частью почвенно-экологического индекса. Агроэкологический потенциал (АП) характеризует влияние климатических условий на урожайность зерновых культур и рассчитывается по формуле:

$$АП = \frac{\sum_{t > 10^{\circ}} (KY - P)}{KK + 100}, \quad (1)$$

где $\sum_{t > 10^{\circ}}$ – сумма температур выше 10°C , берется из климатических (агроклиматических) справочников (мы предлагаем рассчитать ее распределение по склону); KY – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков D (мм) к испаряемости E); величины KY более 1,1 принимаются равными 1,1; P – поправка к KY , при $KY > 0,76$: $P = 0,20 - 0,6(1,1 - KY)$; $KY = 0,76 - 0,36$: $P = 0$; $KY = 0,35 - 0,30$: $P = 0,35 - KY$; $KY < 0,30$: $P = 0,05$; KK – коэффициент континентальности климата (для исследовательской территории равен 187).

Оценку неоднородности теплообеспеченности склонов ($\sum_{t_c > 10}$) проводили по эмпирической формуле расчета трансформации суммы эффективных температур за счет перераспределения рельефом потока солнечных лучей (инсоляции), предложенной И.И. Кармановым (1997):

$$\sum_{t_c > 10} = \sum_{t > 10} + ((\sum_{t > 10} \times K \times y^{0,7}) / (75 - \text{Ш})), \quad (2)$$

где $\sum_{t > 10^{\circ}}$ – сумма температур выше 10°C , берется из климатических (агроклиматических) справочников; y – крутизна склона в градусах; Ш – широта местности (для исследовательской территории равна 51,87); K – коэффициент пропорциональности.

Исходя из значений коэффициентов пропорциональности, предложенных автором [3] для 4 румбов, нами установлена зависимость для K :

$$K = -0,001637\text{Э}^6 + 0,031664\text{Э}^5 - 0,224319\text{Э}^4 + 0,697524\text{Э}^3 - 0,930872\text{Э}^2 + 0,635330\text{Э} - 0,346449, \\ R^2 = 0,963206, \quad (3)$$

где Э – значение экспозиции в радианах.

Связь радиационного баланса с суммой активных температур была установлена для европейской территории России [2]:

$$R = 0,0121 ((\sum_{t > 10^{\circ}}) + 9,9289), \quad \text{где} \quad (4)$$

R – радиационный баланс $\text{МДж/м}^2\text{год}$. Подставляя в зависимость (4) результаты вычислений по формуле (2), получим радиационный баланс поверхности склона (R_c).

А.А. Григорьев, М.И. Будыко [1] предложили расчет коэффициента увлажнения KY , для наклонной поверхности он будет выглядеть:

$$KY = \frac{D \cdot L}{0,94R_c}, \quad (5)$$

L – скрытая теплота парообразования, равная $2,3 \text{ МДж/кг}$; $0,94$ – поправка для зоны

увлажнения. D – количество осадков (мм).

Результаты исследования и их обсуждение

Исследовательский полигон представлен разноэкспонированными склонами с крутизной склонов от 1 до 7° (рис. 1).

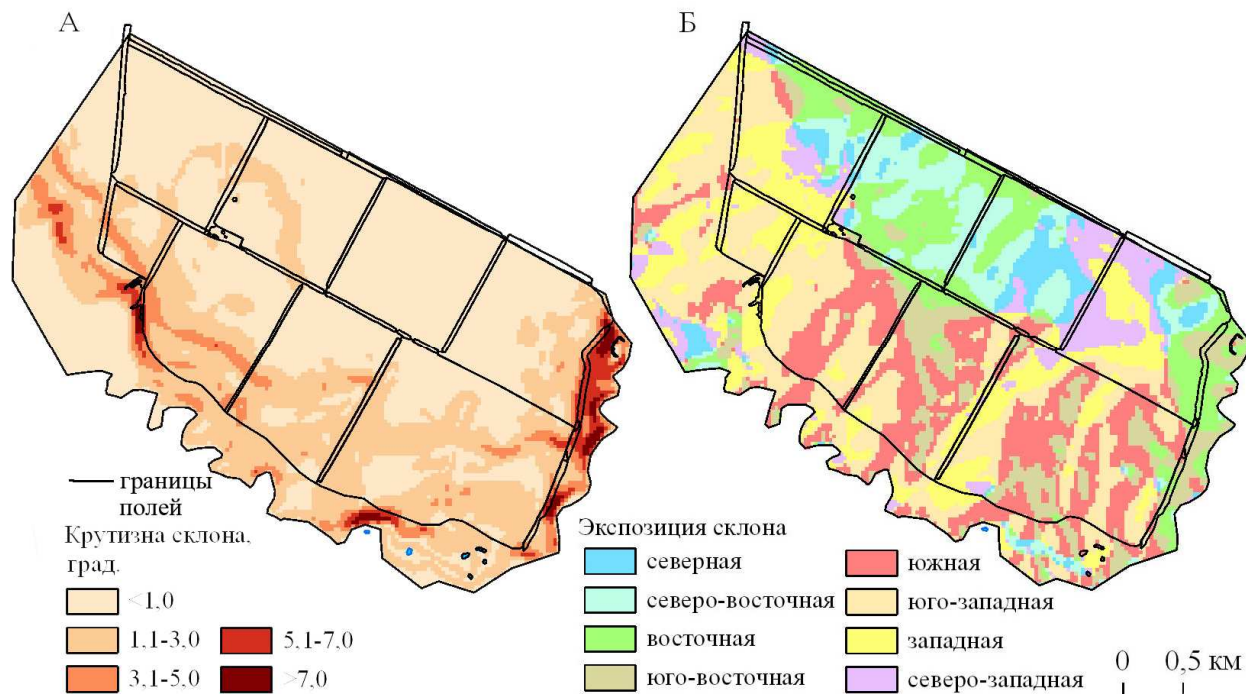


Рис. 1. Распределение значений крутизны (А) и экспозиций склонов (Б) объекта исследования

Более половины площади исследуемой территории (56,8%) занимают плакорные территории, 33,7% приходится на склоны 1-3°, склоны 3-5° занимают 6,6%, более половины из которых приходится на кормовые угодья. Крутизна склона свыше 5° отмечена только на кормовых угодьях. Нами отмечено, что даже на склонах небольшой крутизны при изменении экспозиции изменяются микроклиматические условия. Поэтому экспозиции выделены и на склонах менее 1°. Анализ рис. 1Б показывает, что преобладают склоны южных экспозиций (51,8%), на склоны западной экспозиции приходится 15,4%, восточной – 12,3%, на склоны северных экспозиций приходится 20,5% исследуемой территории.

Используя формулы (3)-(5), построили картосхемы распределения суммы активных температур (рис. 2А) и коэффициента увлажнения (рис. 2Б) для объекта исследования.

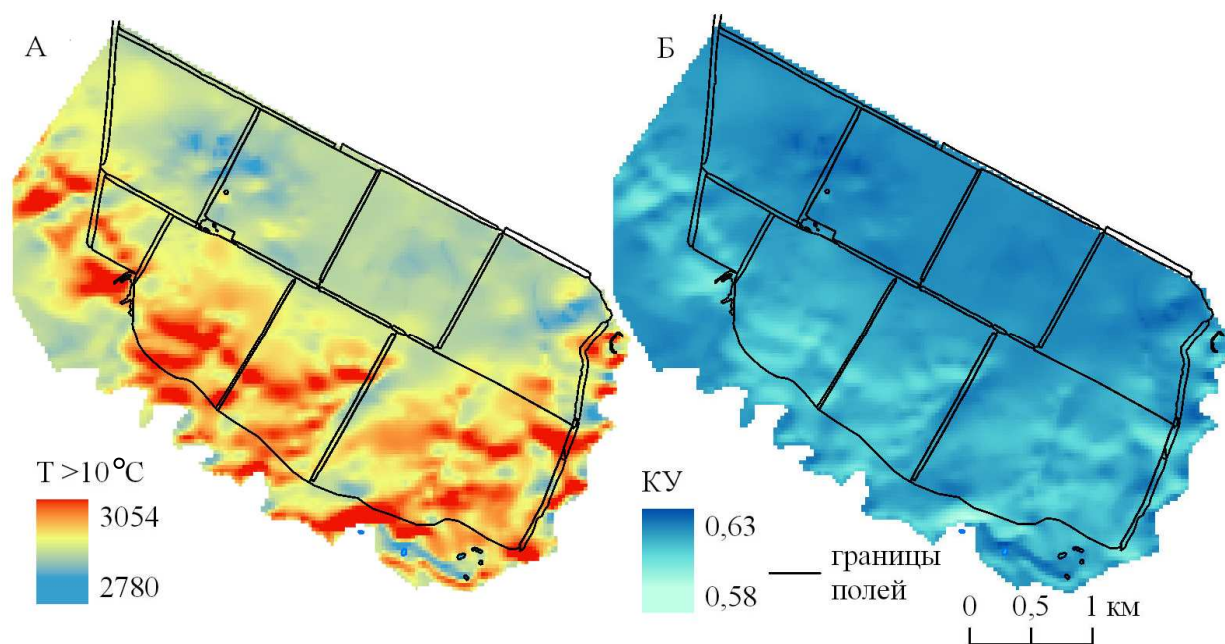


Рис. 2. Распределение значений суммы активных температур (А) и коэффициента увлажнения (Б)

Суммы активных температур меняются по склону от 2780 до 3054°: на плакоре, северном и восточном склонах преобладают суммы температур 2780-2850°, на южном и юго-западном склонах – 2850-2900°. Вниз по южным склонам, где уклоны составляют более 5°, суммы температур повышаются до 3054°.

Следует отметить, что для зерновых культур (без кукурузы) достаточной для реализации биологического потенциала является сумма биологически активных температур 1900° [11]. С ростом этой суммы выше определенного уровня (порядка 2900-3000°) потенциал должен даже понижаться из-за стрессовых явлений. При недостаточном увлажнении происходит расходование тепловых ресурсов не в биопродукционных процессах, а на нагрев почвы и воздуха.

В среднем на территории фермерского хозяйства значения коэффициента увлажнения составляют 0,61 (рис. 2Б). Максимальную величину (0,63) коэффициент увлажнения достигает на северном и северо-восточном склонах исследовательского полигона. Минимальные значения (0,58) на южных склонах крутизной свыше 5°.

Полученные grids позволили произвести расчет агроклиматического потенциала территории хозяйства в зависимости от особенностей рельефа (рис. 3).

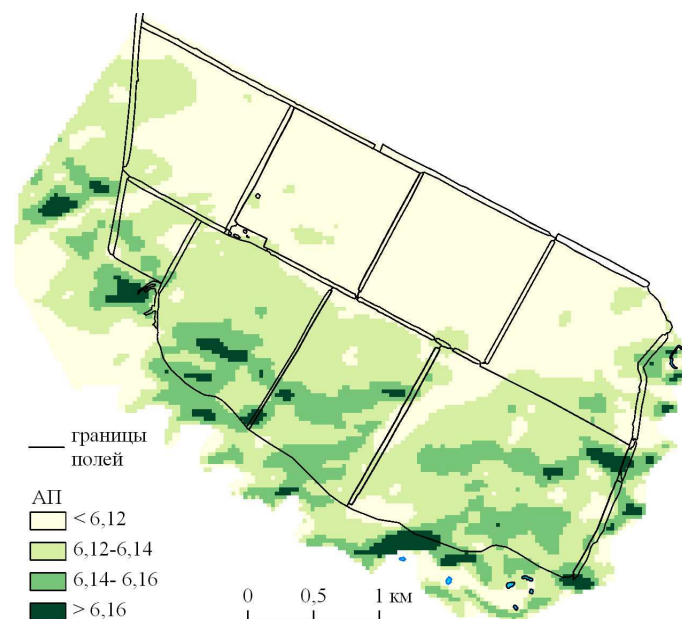


Рис. 3. Пространственное распределение величины агроэкологического потенциала

В среднем агропотенциал территории составляет 6,13, увеличиваясь до 6,16 вниз по южным склонам с увеличением крутизны до 7° и уменьшаясь до 6,12 на северных склонах крутизной 3°.

Заключение. Представленная методика позволяет уточнять агроэкологические характеристики рабочих участков сельскохозяйственных угодий в зависимости от особенностей мезорельефа с использованием ГИС-технологий. Разработанная методика расчета уклонов, экспозиция, тепло- и влагообеспеченности, агропотенциала может быть применена при разработке проекта адаптивно-ландшафтной системы земледелия, определении нормативной урожайности сельскохозяйственных культур при оценке земель. Рекомендуется включить данные характеристики в паспорт плодородия земель.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ для молодых учёных 15-35-50131.

Список литературы

1. Григорьев А.А. Связь балансов тепла и влаги с интенсивностью географических процессов / А.А. Григорьев, М.И. Будыко // Докл. АН СССР. – 1965. – Т. 162. – № 1. – С. 151-154.
2. Давитая Ф.Ф. Проблема прогноза, испаряемости и оросительных норм / Ф.Ф. Давитая, Ю.С. Мельник. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – 71 с.
3. Карманов И.И. Ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории: методическое пособие / И.И. Карманов, Д.С. Булгаков. – М. : РАСХН, Почв. ин-т им. Докучаева, 1997. – 48 с.

4. Карманов И.И. Плодородие почв СССР. – М. : Колос, 1980. – 224 с.
5. Куренной И.М. Плодоводство / И.М. Куренной, В.Ф. Колтунов, В.И. Черепашин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 397 с.
6. Лисецкий Ф.Н. Климатическая обусловленность почвообразования в Центральном Черноземье / Ф.Н. Лисецкий, О.А. Чепелев // Вестник ВГУ. – 2003. - № 2. – С. 15-23.
7. Смирнова Л.Г. Практикум по ландшафтному земледелию / Л.Г. Смирнова, А.Г. Нарожняя, Н.С. Кухарук, П.А. Украинский. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2009. – 63 с.
8. Смирнова Л.Г. Применение геоинформационных систем для агроэкологической оценки земель при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Л.Г. Смирнова, А.Г. Нарожняя, Ю.Л. Кривоконь, А.А. Петрякова // Достижения науки и техники АПК. – 2011. - № 11. – С. 11-14.
9. Фурса Д.И. Агроклиматическая оценка потенциальных возможностей формирования урожая винограда в Крыму // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1985. - № 1. – С. 30-32.
10. Швец Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка (на примере Украины и Молдавии). – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 184 с.
11. Янюк В.М. Обоснование продуктивности культур для кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения / В.М. Янюк, В.А. Тарбаев, И.С. Гагина // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 2. – С. 32-42.

Рецензенты:

Лисецкий Ф.Н., д.г.н., профессор, начальник ЦКП научно-технологическим оборудованием «Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов» НИУ «БелГУ», г. Белгород;

Смирнова Л.Г., д.б.н., профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород.