

МЕТОД ИТЕРАЦИИ СРЕДНИХ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

© 2023 г. Ю.И. Сухоруких, С.Г. Биганова

Майкопский государственный технологический университет

Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191. E-mail: drsuchor@rambler.ru

Поступила в редакцию 02.11.2022. После доработки 16.01.2023. Принята к публикации 03.04.2023.

Изучение и сохранение биологического разнообразия является одной из глобальных современных экологических проблем мировой значимости. Цель работы – предложить метод для выделения перспективных растений на основе итерации средних значений. Для этого было заложено 9 пробных площадей в степной, лесостепной и горной зонах Северо-Западного Кавказа в защитных и лесных насаждениях. На основе известных методов изучались высота, диаметр ствола, радиус кроны, обилие плодоношения, масса и балл селекционной ценности орехов. Мы исследовали изменение средних значений показателей при разном числе итераций. Предложен метод выделения перспективных особей по значениям среднего итераций 4 и 5. Сравнивали предлагаемый метод с известным, базирующимся на значениях суммы (разности) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения. При статистическом нормальном распределении показателей известный и предлагаемый методы дают близкие значения в сторону увеличения или уменьшения показателя. Использование известного метода при статистическом распределении, отличающегося от нормального, в некоторых случаях дает значения, лишённые смысла. Предлагаемый метод, базирующийся на среднем значении итерации 4 и 5 в сторону увеличения или уменьшения изучаемого показателя, позволяет использовать его для выделения объектов при статистическом распределении, отличающихся от нормального.

Ключевые слова: экологические исследования, метод, итерация, средние, статистическое распределение, организмы, продуктивность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-124-130

EDN: CVEZIR

Одной из глобальных современных экологических проблем мировой значимости является изучение, сохранение и рациональное использование биологического разнообразия (Алимов и др., 2001; Planta Eurora, 2008). Особую важность это представляет для аридных экосистем, где разнообразие снижено, а использование ограничено жесткими природно-климатическими условиями, нередко сильно отличающимися на незначительных площадях (Агролесомелиорация, 2006; Адамова и др., 2021; Кулик и др., 2021).

Основополагающим в этом является вопрос выделения устойчивых и продуктивных генотипов растительности, являющейся мощным компонентом восстановления и поддержания продуктивности таких ландшафтов (Агролесомелиорация, 2006; Адамова, Казиев, 2021; Крючков, Маттис, 2014; Беляев и др., 2021; Шамсутдинова и др., 2017). Обычно выделение нужных организмов связано с использованием средних значений их показателей (Крючков, Маттис, 2014; Петров, 1973; Терентьев, Ростова, 1977; Царёв и др., 2014; Шамсутдинова и др., 2017). Одним из широко применяемых методов для выделения перспективных растений, в частности, древесных и кустарниковых видов, является теоретическое положение о нормальном распределении признаков и возможной генетической связи продуктивности со средней величиной показателя, увеличенного (уменьшенного) на удвоенное среднеквадратичное отклонение (Петров, 1973; Сухоруких, Биганова, 2003; Царёв и др., 2014). Однако показатели могут иметь различное статистическое распределение, и в этом случае использование этого метода, как будет показано в данной работе, может привести к значительным просчетам при отборе наиболее ценных компонентов экосистем.

Для объективности исследований применяют различные методы, одним из которых является итерация. Этот метод применим для вычисления среднего арифметического значения. Для него

может вводиться ограничение на количество итераций (Макс, 1983; Роганов, 2001).

Цель работы – предложить метод выделения перспективных растений на основе итерации средних значений. В контексте работы была поставлена задача апробации данного метода при нормальном и отличающемся от него статистическом распределении показателей. Применение данного метода при изучении живых организмов нам неизвестно.

Материалы и методы

Объектом исследований являлись защитные лесные полосы и лесные насаждения, произрастающие на Северо-Западном Кавказе, в которых было заложено 9 пробных площадей (ПП). В степной зоне на ПП5 мы изучали длину окружности ствола на высоте 1.3 м у 159 деревьев ореха черного (*Juglans nigra* L.), на ПП6 – радиус крон 100 особей среднего ряда 5-рядной полезащитной лесной полосы ореха грецкого (*Juglans regia* L.), на ПП8 – обилие плодоношения у 100 растений на вышеуказанной полосе. Среднюю высоту растений полезащитных лесных полос на ПП3 из ясеня ланцетного (*Fraxinus lanceolata* В.) устанавливали на основе 124 наблюдений, на ПП4 – у дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) при обмере 122 рамет. В лесной зоне в популяции на ПП1 определяли общий балл селекционной категории плодов для 485 кустов, на ПП2 для 217 растений – среднюю массу плодов лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.); на плантациях ореха грецкого на ПП7 у 167 саженцев определяли высоты, на ПП9 у 163 шт. – годичный прирост. В исследованиях применялись общепринятые для лесоводства и известные в селекции орехоплодных методы (Биганова и др., 2020; Сухоруких, 2008).

При разработке метода последовательное вычисление средних (итерацию) осуществляли следующим образом.

1. Данные упорядочивали по возрастающим значениям признака.
2. Затем вычисляли среднее арифметическое для всего массива данных (X_{cp1}):

$$X_{cp1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_i}{n_1} \quad (1),$$

где x_i – отдельные значения признака; n_1 – общая численность наблюдений.

3. Далее в обе стороны от X_{cp1} определяли последующие средние $X_{cp, k}$, для $k = 2 \dots 5$ отдельно для каждого массива, формирующегося при последующем шаге итерации. По формуле (2) для вычисления в сторону увеличения, по формуле (3) – в сторону уменьшения признака:

$$X_{cp, k} = \frac{\sum_{i: \{x_{cp, k-1} \leq x_i \leq x_{max}\}} x_i}{n_k} \quad (2),$$

$$X_{cp, k} = \frac{\sum_{i: \{x_{min} \leq x_i \leq x_{cp, k-1}\}} x_i}{n_k} \quad (3),$$

где $X_{cp, k}$ – средние при следующем шаге итераций; $k = 2 \dots 5$; n_k – численность наблюдений для каждого шага итерации.

4. При отборе в сторону увеличения показателя численность массива данных для вычисления $X_{cp2} \dots X_{cp5}$ устанавливали от значения предыдущего среднего в сторону максимального значения показателя (рис. 1): для $X_{cp2} - [X_{cp1}; X_{max}]$; для $X_{cp3} - [X_{cp2}; X_{max}]$; для $X_{cp4} - [X_{cp3}; X_{max}]$; для $X_{cp5} - [X_{cp4}; X_{max}]$.

5. При отборе в сторону уменьшения признака массивы данных при итерациях формировали от значения X_{cp1} в сторону минимального значения признака (рис. 1): для $X_{cp2} - [X_{cp1}; X_{min}]$; для $X_{cp3} - [X_{cp2}; X_{min}]$; для $X_{cp4} - [X_{cp3}; X_{min}]$; для $X_{cp5} - [X_{cp4}; X_{min}]$.

6. При наличии в массиве данных нескольких x_i , имеющих одинаковое значение со средними $X_{cp1} \dots X_{cp5}$ половину их исключали, а вторую половину включали в соответствующий массив для расчёта следующего $X_{cp, k}$.

По окончании итерации 5 мы вычисляли результирующий признак – среднее для итераций 4 и 5. Полученный результат сравнивали с вычисленным по известному методу, определяемому как сумму (разность) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения для всей совокупности

(Петров, 1973; Царёв и др., 2014). Обработку результатов осуществляли с использованием лицензионной программы STADIA 8.0/prof для Windows и Microsoft Excel.

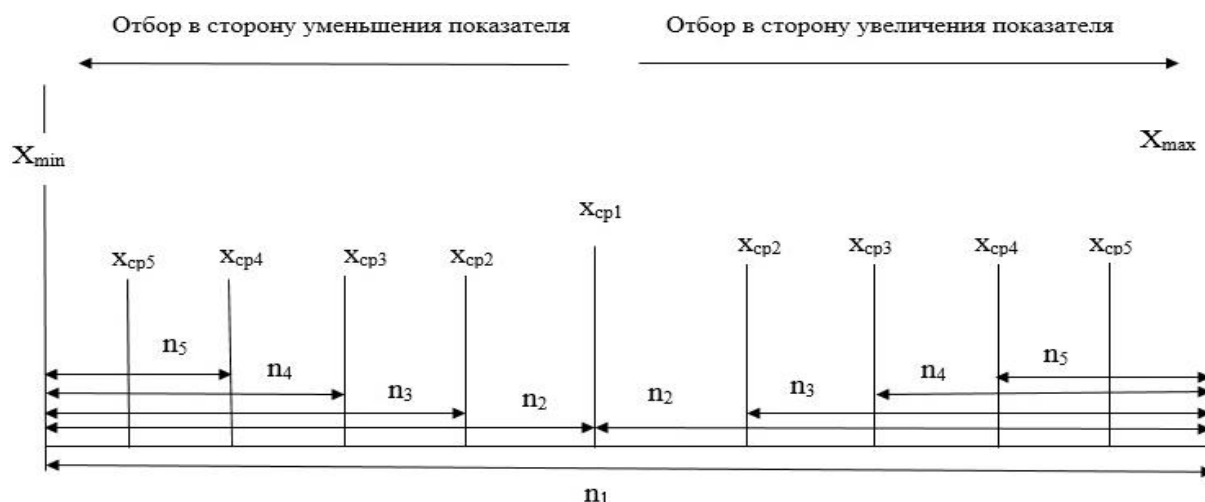


Рис. 1. Выделение массивов данных при итерации средних.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа распределения показателей пробных площадей 1-9 представлены в таблице 1. Показатели пробных площадей 1-5 имели нормальное статистическое распределение по критериям Колмогорова-Смирнова и Хи-квадрат, а пробных площадей 6-9 отличались от нормального.

Значение средних для всей совокупности при итерациях 4-5 и отличия оценки по различным методам представлены в таблице 2.

Таблица 1. Оценка распределения показателей на пробных площадях.

Объект	Заключение о статистическом распределении по критериям			
	Колмогоров-Смирнов		Хи-квадрат	
	Статистика	Значимость P	Статистика	Значимость P
ПП1	0.03673	0.1279	9.846	0.6294
ПП2	0.03767	0.7711	5.348	0.7198
ПП3	0.0505	0.9703	2.007	0.919
ПП4	0.05642	0.1539	10.57	0.1026
ПП5	0.05073	0.4937	8.253	0.3108
ПП6	0.1145	0.00347	62.4	5.958E-6
ПП7	0.1343	2.958E-7	55.49	9.252E-6
ПП8	0.1293	0.0004721	31.32	2.515E-5
ПП9	0.1707	2.082E-11	101	1.307E-5

Примечания к таблице 1. При $P > 0.05$ нулевая гипотеза об отсутствии различий между эмпирическим и нормальным распределением может быть принята; при $P \leq 0.05$ принимается альтернативная гипотеза о том, что распределение отличается от нормального.

Как следует из данных (табл. 2), значения критериев для выделения перспективных особей, определенных по известному методу в сторону увеличения, больше среднего итераций 4 и меньше итераций 5, т.е. занимают промежуточное положение между ними. С учетом этого определяли среднее между итерациями 4 и 5. Сопоставление данного значения с вычисленным по известному методу в сторону увеличения критериев отбора показало близкие результаты и отличия не превысили 1.52%. В сторону уменьшения критериев определяемые по известному методу меньше

(за исключением ПП4, где отличие составило 0.3%) среднего итерации 4 и больше среднего итерации 5. Соответственно, среднее между значениями итерации 4 и 5 отличалось от известного на 0.16-4.23%. Полученные данные указывают на хорошую согласованность предлагаемого метода с известным, и оба позволяют выделить перспективные объекты в сторону увеличения и уменьшения, которые фактически имеются на изучаемых ПП (табл. 2).

Таблица 2. Величина средних и отличие методов при выделении особей с минимальными и максимальными значениями показателей.

№ ПП и объем выборки, шт.	Мах и min значения показателей	Среднее для ПП	Значение для выделяемых объектов по известному методу, мах и min	Среднее для итераций		Значение показателей для выделяемых объектов по предлагаемому методу, мах и min	Отклонения значений известного метода от предлагаемого, мах и min, %
				4 мах и min	5 мах и min		
1 485	45.36 27.63	36.30	42.80 29.80	42.60 30.82	43.61 29.53	43.11 30.18	0.72 1.26
2 217	2.5 0.44	1.41	2.19 0.63	2.14 0.73	2.27 0.58	2.21 0.65	0.90 3.08
3 124	21.5 13	17.17	20.51 13.83	20.26 14.09	20.75 13.37	20.51 13.73	0 0.73
4 122	22 12	17.44	21.34 13.54	21.33 13.50	22.0 12.47	21.67 12.99	1.52 4.23
5 159	62 20	40.73	56.95 24.51	54.24 25.64	59.75 23.29	57 24.47	0.09 0.16

Сравнение предлагаемого и известного метода для 4 различных объектов при статистическом распределении количественных признаков, отличающихся от нормального по критериям Колмогорова-Смирнова, хи-квадрат (табл. 1), выявило следующее.

ПП6. Распределение радиуса кроны у растений ореха грецкого, произрастающего в середине пятирядной защитной лесной полосы представлено на рисунке 2.

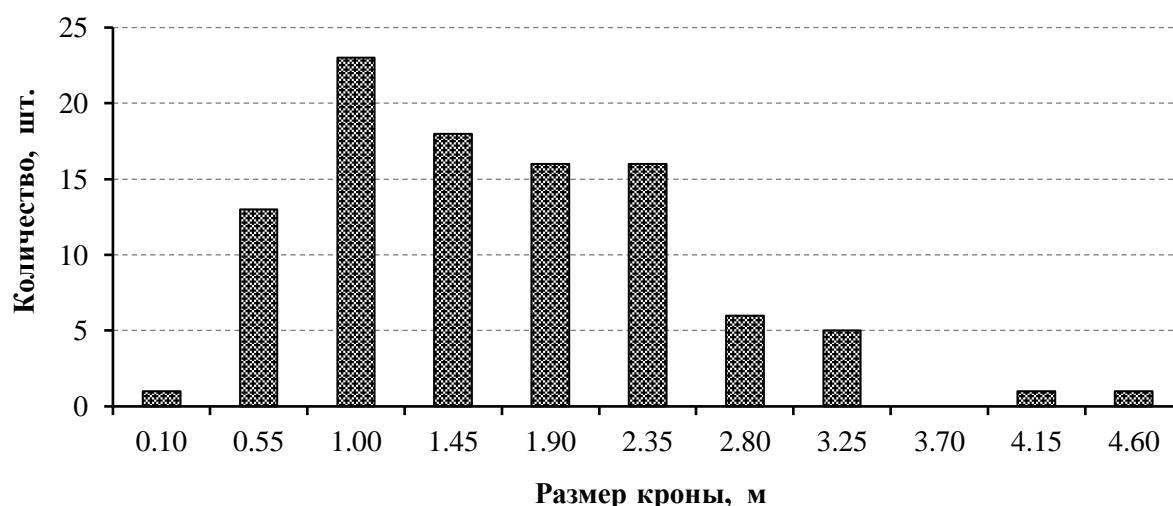


Рис. 2. Распределение радиуса кроны ореха грецкого в срединном ряду защитной лесной полосы.

Средний размер кроны ореха составил 1.45 м, среднеквадратичное отклонение – 0.81 м, минимальное значение – 0.1 м, максимальное – 4.6 м, вычисленное теоретическое значение по известному методу для выделения особей с наиболее развитыми кронами – 3.07 м и более. Среднее

при итерации 4 составило 3.37 м, при итерации 5 – 4.3 м, среднее между ними – 3.84 м. Отличие значений между методами в сторону увеличения составило 20.05%. В сторону наименьшего значения теоретический размер радиуса кроны по известному методу имел отрицательное значение – -0.17 м, что также лишено смысла, а вычисленное по предлагаемому методу – 0.3 м. При минимальном значении радиуса кроны (0.1 м) отбор по нему на изучаемом объекте возможен.

III7. Распределение высот трехлетних саженцев ореха грецкого на плантации представлено на рисунке 3.

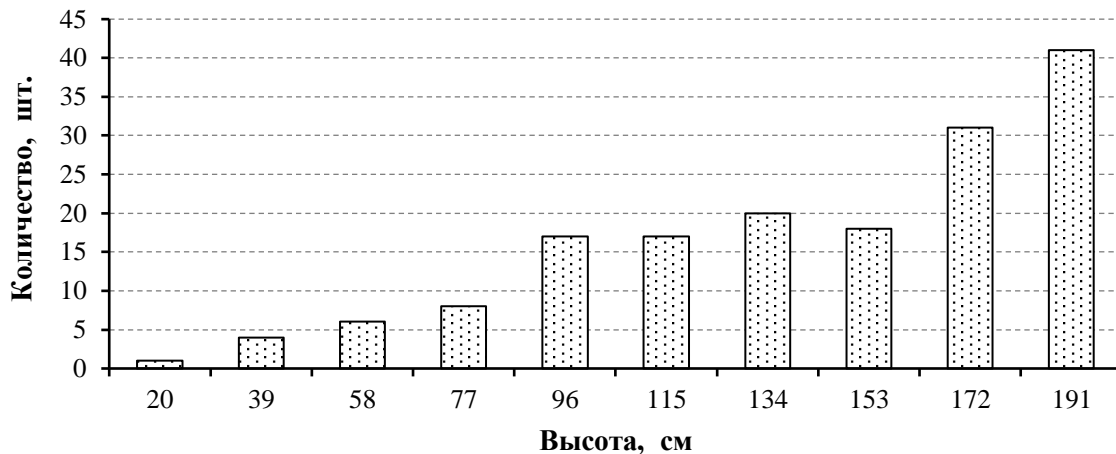


Рис. 3. Распределение высот трехлетних саженцев ореха грецкого.

Средняя высота саженцев составила 135.75 см, среднеквадратичное отклонение 44.57 см, вычисленная по известному методу величина растений, которые могут быть отнесены к перспективным по росту – 224.89 см. Фактическое максимальное значение высоты в изучаемой совокупности составило 195 см, поэтому выделение перспективных растений по известному методу в данной совокупности лишено смысла в связи с отсутствием саженцев такой высоты. По предлагаемому методу высота перспективных форм составила от 190.18 см и более, что позволяет выделить нужные растения.

В сторону уменьшения показателя высота растений для отбора составила по известному методу не более 46.61 см, по предлагаемому – 43.31 см. Отличие составило 7.62%. Отбор возможен в обоих случаях.

III8. Распределение показателя обилия плодоношения ореха грецкого в полегающей лесной полосе в условиях степной зоны Северо-Западного Кавказа представлено на рисунке 4.

В данном варианте вычисленное значение средней – 4.28, среднеквадратичного отклонения – 2.89, теоретическое значение наиболее обильно плодоносящих особей по известному методу – 10.06 шт./0.5 м² на боковой поверхности кроны. В сторону увеличения среднее итерации 4 равно 9.84, итерации 5 – 10.67, среднее между ними – 10.26 шт./0.5 м². В данном случае оба варианта имели близкие значения и отличие составило 1.95%, а при максимальном значении показателя 11 шт./0.5 м² отбор возможен по обоим методам.

В сторону уменьшения для известного метода показатель имеет отрицательное значение – -1.50, что также лишено смысла, а вычисленный по предлагаемому методу составил 0.07 шт./0.5 м² боковой поверхности кроны. При фактическом минимальном значении этого признака 0.01 шт./0.5 м² отбор по нему возможен.

III9. Распределение приростов у трехлетних саженцев ореха грецкого на плантации представлено на рисунке 5.

Среднее значение прироста составило 20.3 см, среднеквадратичного отклонения – 16.68 см, теоретическое значение для выделения перспективных особей по известному методу начинается с 53.66 см, а по предлагаемому – от 66.35 см и более. Отличия между теоретическими и фактическими значениями составили 19.13%. При максимальном значении прироста 80 см в сторону увеличения в обоих случаях отбор возможен по обоим методикам.

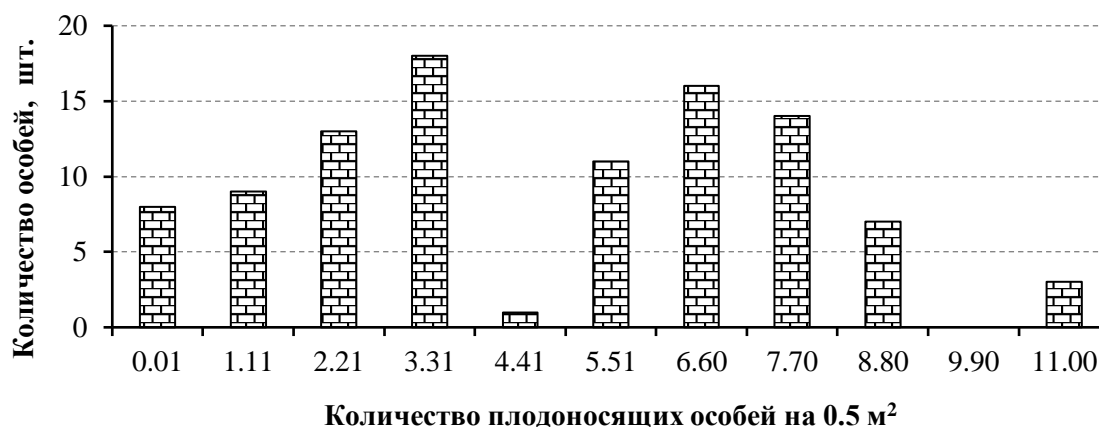


Рис. 4. Распределение показателя обилия плодоношения растений в полейзащитной лесной полосе ореха грецкого.

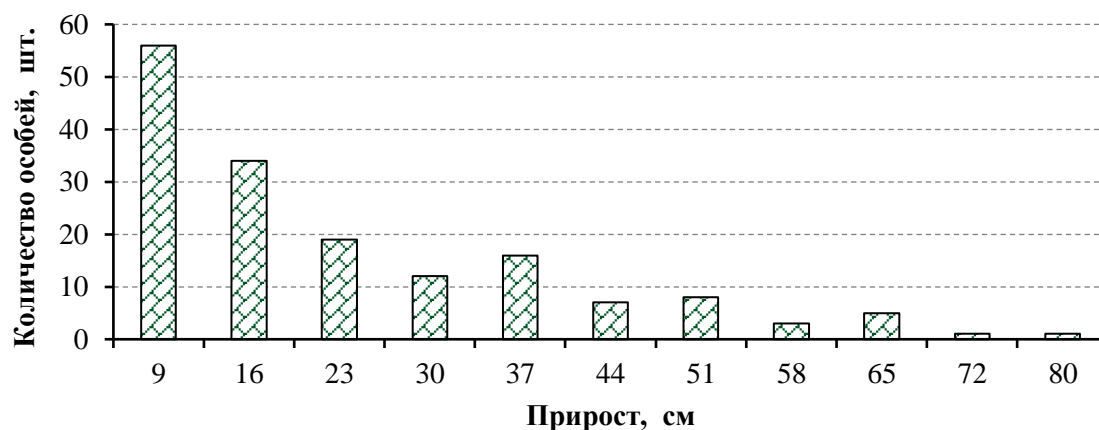


Рис. 5. Распределение приростов у трехлетних саженцев ореха грецкого.

В сторону минимального значения признака, равного 2 см, по известному методу теоретическое значение прироста имело отрицательное значение – -13.06 см, что лишено смысла, а значит, осуществить отбор по нему в данном случае невозможно. Вычисленное минимальное значение по предлагаемому методу составило 3.96 см, что позволяет выделить требуемые особи.

Выводы

1. При статистическом нормальном распределении показателей известный и предлагаемый метод в рамках изученных выборок дают близкие значения в сторону увеличения или уменьшения величины показателя.
2. Использование известного метода, базирующегося на сумме (разности) среднего и удвоенного среднеквадратичного отклонения при статистическом распределении, отличающимся от нормального в некоторых случаях дает значения, выходящие за пределы интервала изменений исследуемых показателей, что не позволяет осуществить отбор требуемых объектов.
3. Предлагаемый метод, базирующийся на среднем значении итерации 4 и 5 в сторону увеличения или уменьшения изучаемого показателя позволяет в ряде случаев использовать его для выделения перспективных растений при статистическом распределении, отличающемся от нормального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроресомелиорация. 2006. 5-е изд., перераб. и доп. / Ред. А.Л. Иванов, К.Н. Кулик. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ. 746 с.

- Адамова Р.М., Казиев М.-Р.А. 2021. Эколого-биологические аспекты формирования защитных лесных насаждений в аридных регионах // Аридные экосистемы. Т. 27. № 2 (87). С. 26-32. [Adamova R.M., Kaziev M.-R.A. 2021. Ecological and Biological Aspects of Formation of Protective Forest Stands in Arid Regions // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. P. 135-140.]
- Алимов А.Ф., Алтухов Ю.П., Амирханов А.М. 2001. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России: Принята на Форуме по сохранению живой природы России (Москва, июнь 2001 г.). М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия». 76 с.
- Беляев А.И., Кулик К.Н., Манаенков А.С. 2021. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 68 с.
- Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Пчихачев Э.К. 2020. Программные требования к перспективному генофонду лещины (фундука) // Новые технологии. Вып. 2 (52). С. 135-143.
- Крючков С.Н., Маттис Г.Я. 2014. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ. 301 с.
- Кулик А.К., Кулик К.Н., Власенко М.В., Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г. 2021. Формирование водного режима на песках Арчединско-Донского массива в зависимости от распространения растительных формаций // Аридные экосистемы. Т. 27. № 4 (89). С. 50-58. [Kulik A.K., Kulik K.N., Vlasenko M.V., Sukhorukikh Yu.I., Biganova S.G. 2021. Water-Regime Formation in Sands of the Archeda–Don Massif with Respect to the Distribution of Plant Formations // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 4. P. 358-366.]
- Макс Ж. 1983. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х томах. М.: Мир. Т. 1. 312 с.
- Петров С.А. 1973. Методы определения и практическое использование коэффициента наследуемости в лесоводстве. М: Типография ЦБНТИлесхоза. 51 с.
- Роганов Е.А. 2001. Основы информатики и программирования: учебное пособие. М.: МГИУ. 315 с.
- Сухоруких Ю.И. 2008. Избранные труды. Кн. 2: Орехоплодные. Майкоп: ООО «Качество». 396 с.
- Сухоруких Ю.И., Биганова С.Г. 2003. Селекция ореха грецкого для полезащитного лесоразведения // Известия высших учебных заведений, Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. № S12. С. 60-63.
- Герентьев П.В., Ростова Н.С. 1977. Практикум по биометрии: учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета. 152 с.
- Царёв А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В. 2014. Селекция лесных и декоративных древесных растений: учебник / Ред. А.П. Царёв. М: МГУЛ. 552 с.
- Шамсутдинова Э.З., Косолапов В.М., Кенжегалиев Г.К. 2017. Селекция солеустойчивого сорта однолетнего галофита сведы высокой (*Suaeda altissima* L.) в Прикаспийской полупустыне // Российская сельскохозяйственная наука. № 5. С. 24-27.
- Planta Europa. 2008. European Strategy for Plant Conservation (2008-2014): A Sustainable Future for Europe. Plantlife International, Salisbury, UK and Council of Europe, Strasbourg. 64 p.