

На рис. 4 представлен график связи фактического водопотребления вико-овсяной смеси на делянке 2 (2010–2011) с расчетным значением по формуле (6). Коэффициент корреляции этой связи равен $0,911 \pm 0,075$, что говорит о тесной связи рассматриваемых признаков.

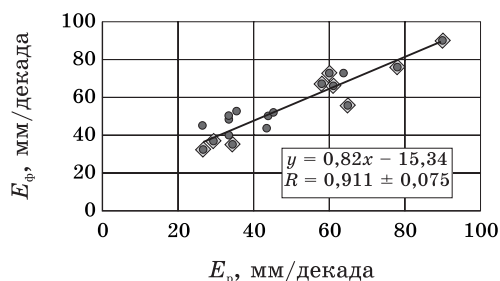


Рис. 4. Связь фактического водопотребления вико-овсяной смеси (E_f – данные делянок) с расчетным значением E_p по формуле (6): \diamond – 2010 год; \bullet – 2011 год

Выводы

Формулу расчета водопотребления вико-овсяной смеси (6) можно рекомендо-

вать для условий полива культур дождеванием дерново-подзолистых почв водоразделов. Пределы применения формулы (6) – от 45 до 180 мб за декаду.

Для учета снижения интенсивности водопотребления в начале и конце периода вегетации получены биологические коэффициенты для вико-овсяной смеси (см. табл. 2).

Определено влияние снижения влажности почвы на водопотребление, получены коэффициенты, учитывающие влажность корнеобитаемого слоя почвы для вико-овсяной смеси (см. табл. 3).

Материал поступил в редакцию 14.02.12.

Пчёлкин Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»
E-mail: vpchelkin@cln.ru

Шильников Дмитрий Сергеевич, аспирант

Тел. 8 (499) 153-96-28

УДК 502/504:631.6:631.61, 332.362

В. В. ШАБАНОВ, Н. НИЙОНЗИМА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ РАССТАНОВКИ ТРЕХЪЯРУСНОЙ НАСАДКИ НА ВОДОПРОВОДЯЩЕМ ПОЯСЕ ДДА-100МА

Бассейн реки Русизи – это береговая равнина с плодородными аллювиальными почвами Республики Бурунди. В этом регионе факторы жизни растений (температура воздуха, атмосферные осадки и относительная влажность воздуха) во влажный сезон благоприятны. В сухой сезон требуется орошение в связи с малым количеством осадков. Анализ многолетних данных показывает, что среднемесячные температуры имеют тенденцию к некоторому повышению, осадки и относительная влажность воздуха более постоянны.

Температура воздуха, атмосферные осадки, относительная влажность воздуха, нормальный закон распределения, благоприятные сельскохозяйственные условия, тенденция к увеличению температур.

The basin of the Rusizi is a riverside plain with fertile alluvial soils of the Republic of Burundi. In this region factors of plants life (air temperature, precipitation and relative air humidity) are favorable. During a dry season irrigation is needed because of small quantity of precipitation. The analysis of the long-term data shows that average monthly temperatures have a tendency to some increasing, precipitation and relative humidity are more constant.

Air temperature, precipitation, relative air humidity, normal law of distribution, favorable agricultural conditions, temperature rise tendency.

Бурунди – страна центра восточной Африки. Климат субэкваториальный. Год разделяют на два сезона: сезон дождей (сентябрь – апрель) и сухой сезон (май – август). Для роста и развития многих сельскохозяйственных культур в период дождей складываются оптимальные условия внешней среды (водный, тепловой, питательный и световой режимы). В сухой сезон некоторым культурам в бассейне реки Русизи не хватает влаги, что приводит к низким урожаям и, как следствие, к нехватке продовольствия в этот период. Происходящие на Земле изменения климатических условий могут усугубить данный процесс. В связи с этим целесообразно проанализировать изменение основных факторов внешней среды, от которых зависит продуктивность растений. Изменение основных факторов среды во времени можно выявить, обработав многолетние данные по температурам воздуха, атмосферным осадкам и относительной влажности воздуха [1–4]. Сопоставляя эти значения с требованиями растений, можно выявить периоды, наиболее благоприятные для роста и развития растений, и периоды, в которые необходимы мелиоративные (улучшающие) воздействия.

Значение факторов внешней среды для роста и развития сельскохозяйственных культур. Рассмотрим влияние каждого фактора отдельно. Изучение влияния изменения температуры воздуха очень значимо, так как она и связанная с ней температура почвы являются основным энергетическим фактором продуктивности растений [5]. Количество теплоты определяет развитие растений на данной территории. Для каждой культуры существуют температурные пределы жизнедеятельности – биологический минимум и биологический максимум. Активная температура – это среднесуточная температура воздуха (или почвы) выше биологического минимума развития культуры. Эффективная температура – это среднесуточная температура воздуха (или почвы), уменьшенная на значение биологического минимума [6]. Зона оптимальных температур для растений находится между ними. В целях анализа возможного влияния изменения климата на продуктивность культур, возделываемых в этом районе, были определены границы оптимального диапазона.

Оптимальная температура для этих культур составляет: рис – 30...32 °С, куку-

руза – 28...35 °С, фасоль – 20...28 °С, батат – 25 °С, маниок – 25...35 °С, картофель – 18...22 °С. Сумма активной температуры: для кукурузы – 1800...2600 °С, для фасоли – 1500...3000 °С [7].

Осадки являются основным источником влаги почвы и играют большую роль в водном балансе [8]. Продуктивность зависит не только от количества осадков и режима их выпадения, но и от хода процессов водообмена в почве [9]. Поэтому воздействие осадков на сельскохозяйственные культуры не всегда положительно. Это зависит от фазы развития растения, интенсивности и продолжительности самих осадков [6]. Таким образом, влияние осадков на продуктивность неоднозначно. Более однозначную зависимость можно получить, используя в качестве аргумента не осадки, а продуктивные влагозапасы корнеобитаемого слоя почвы. Однако измерение влагозапасов проводится не на всех метеорологических станциях, но может быть получено на основании моделирования процессов влагообмена в почве [9].

Относительная влажность воздуха – одна из характеристик содержания водяного пара в атмосфере. Она является существенной характеристикой произрастания сельскохозяйственных культур, так как играет значимую роль в процессах транспирации и испарения [8]. При большом дефиците влажности воздуха возрастает испарение с поверхности почвы и транспирация растений, и даже в случае высоких почвенных влагозапасов растение может завянуть, а иногда и погибнуть (в период суховея).

Оценка изменения многолетних данных параметров внешней среды. Для обработки и оценки таких случайных величин, как температура воздуха, атмосферные осадки и относительная влажность воздуха, используют характеристики изменения во времени следующих параметров: математическое ожидание (средняя арифметическая величина), среднее квадратическое отклонение, которое характеризует варьирование ряда [1–4]. В ряде случаев используется коэффициент вариации [10].

В случае, если распределение случайной величины отклоняется от нормального распределения, первые две характеристики дополняются коэффициентами асимметрии и эксцесса. Существенные величины этих параметров свидетельствуют об отклонении закона распределения рассма-

триваемой величины от нормального. В рамках данной работы были оценены статистические параметры всех трех климатических характеристик: температур воздуха, осадков и относительной влажности воздуха. Статистические параметры распределения температуры воздуха, выпадения

атмосферных осадков и относительной влажности воздуха представлены соответственно в таблицах 1, 2 и 3 (анализ проводился с использованием декадных данных за 21-летний период; для сокращения объема в таблицах приведены лишь месячные значения).

Таблица 1

Статистические параметры распределения температуры воздуха

Месяц	Среднее значение, °C	Медиана, °C	Мо-да, °C	σ , °C	C_v , %	Среднее значение + σ , °C	Среднее значение - σ , °C	Максимальное значение, °C	Минимальное значение, °C	Асимметрия	Эксцесс
Январь	24,70	24,71	24,42	0,55	2,22	25,24	24,15	25,64	23,65	-0,13	-0,78
Февраль	25,03	25,02	24,58	0,60	2,40	25,63	24,43	26,34	24,01	0,30	-0,32
Март	24,81	24,75	24,67	0,60	2,43	25,42	24,21	25,86	23,86	0,15	-1,00
Апрель	24,97	24,92	24,75	0,54	2,16	25,51	24,43	26,07	24,10	0,45	-0,53
Май	25,03	25,08	24,83	0,53	2,11	25,56	24,51	26,14	24,17	0,27	-0,63
Июнь	24,11	24,08	23,92	0,43	1,77	24,54	23,68	24,97	23,44	0,36	-0,65
Июль	23,44	23,39	23,25	0,53	2,26	23,98	22,91	24,50	22,48	0,18	-0,70
Август	24,12	24,23	24,25	0,55	2,28	24,67	23,57	24,97	23,03	-0,46	-0,74
Сентябрь	25,13	25,14	25,00	0,61	2,45	25,74	24,51	26,16	23,89	-0,32	-0,73
Октябрь	25,13	25,15	25,00	0,61	2,42	25,74	24,52	26,37	23,95	0,14	-0,31
Ноябрь	24,56	24,51	24,42	0,61	2,49	25,17	23,95	25,86	23,28	-0,05	-0,10
Декабрь	24,58	24,57	24,50	0,55	2,25	25,13	24,03	25,69	23,57	0,04	-0,54

Таблица 2

Статистические параметры распределения выпадения атмосферных осадков

Месяц	Среднее значение, мм	Медиана, мм	Мо-да, мм	σ , мм	C_v , %	Среднее значение + σ , мм	Среднее значение - σ , мм	Максимальное значение, мм	Минимальное значение, мм	Асимметрия	Эксцесс
Январь	31,35	26,97	23,33	22,06	71,01	53,41	9,29	77,70	3,10	0,65	-0,65
Февраль	31,20	28,10	10,00	25,10	82,49	56,30	6,09	86,13	2,97	0,68	-0,63
Март	35,43	33,53	30,00	21,06	58,24	56,48	14,37	77,20	0,00	0,11	-0,94
Апрель	27,75	23,00	23,33	18,08	65,39	45,82	9,67	65,37	1,47	0,74	-0,23
Май	13,12	9,43	5,00	12,95	105,83	26,07	0,17	40,00	0,00	0,82	-0,49
Июнь	0,64	0,17	0,67	1,01	203,02	1,65	-0,36	3,83	0,00	2,18	4,38
Июль	0,20	0,00	0,17	0,48	355,71	0,68	-0,28	1,77	0,00	3,45	11,31
Август	0,77	0,00	0,50	1,40	185,57	2,17	-0,63	4,77	0,00	1,78	1,88
Сентябрь	7,67	2,63	3,33	9,16	121,54	16,82	-1,49	30,50	0,00	1,06	-0,04
Октябрь	21,74	18,57	15,00	16,68	77,38	38,41	5,06	60,73	0,08	0,74	-0,27
Ноябрь	29,71	25,23	20,00	23,45	75,89	53,16	6,27	107,30	2,10	1,58	2,89
Декабрь	30,79	24,97	20,00	25,91	79,16	56,71	4,88	105,37	0,00	1,10	1,21

Таблица 3

Статистические параметры распределения относительной влажности воздуха

Месяц	Среднее значение, %	Медиана, %	Мо-да, %	σ , %	C_v , %	Среднее значение + σ , %	Среднее значение - σ , %	Максимальное значение, %	Минимальное значение, %	Асимметрия	Эксцесс
Январь	74,85	74,92	75,00	2,52	3,38	77,38	72,33	79,48	69,43	-0,11	-0,39
Февраль	74,24	74,59	74,17	2,79	3,76	77,03	71,45	78,73	68,85	-0,42	-0,55
Март	74,76	75,25	74,50	2,15	2,88	76,91	72,60	78,58	69,98	-0,61	0,08
Апрель	74,46	74,10	74,33	1,76	2,36	76,22	72,70	77,63	71,64	0,21	-1,05
Май	70,22	70,98	71,00	2,81	4,00	73,03	67,41	74,34	65,20	0,05	-1,13
Июнь	66,52	66,43	66,00	2,57	3,87	69,10	63,95	71,30	61,83	0,14	-0,59
Июль	63,63	63,28	62,50	3,20	5,02	66,83	60,44	69,11	58,20	0,24	-0,96
Август	62,20	62,15	62,50	3,07	4,94	65,27	59,12	67,77	57,06	0,19	-0,69
Сентябрь	63,27	64,32	63,00	5,61	8,86	68,88	57,66	71,65	53,27	-0,33	-0,94
Октябрь	69,17	70,23	70,00	3,84	5,56	73,01	65,32	74,59	62,22	-0,55	-0,93
Ноябрь	74,37	74,17	74,33	2,63	3,53	76,99	71,74	78,98	69,92	0,02	-0,91
Декабрь	74,80	75,09	74,50	2,23	2,98	77,03	72,57	78,57	70,35	-0,29	-0,65

Средние декадные изменения температуры воздуха показаны на рис. 1.

Анализ изменения температуры воздуха в бассейне реки Русизи показывает, что температурный режим воздуха меняется незначительно. Средняя декадная

температура воздуха изменяется от 23,28 до 25,08 °С в сухом сезоне, во влажном – от 24,30 до 25,27 °С (см. табл. 1). Это интервалы, в которые входит оптимальная температура основных культур региона.

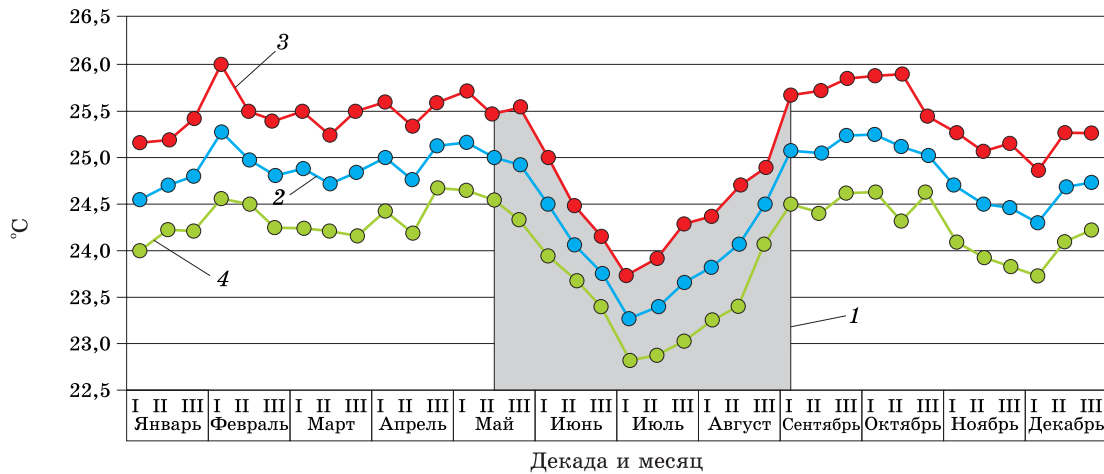


Рис. 1. Изменение средних многолетних величин температуры воздуха по декадам и месяцам: 1 – сухой сезон; 2 – средняя декадная температура воздуха; 3 – $T_a = T_{cp} + \sigma$ – средняя декадная температура воздуха плюс среднее квадратическое отклонение; 4 – $T_b = T_{cp} - \sigma$ – средняя декадная температура воздуха минус среднее квадратическое отклонение

Эффективная температура тоже достаточно для роста и развития многих культур. Весь год температура воздуха характеризуется малым варьированием: в сухом сезоне величина среднего квадратического отклонения изменяется от 0,37 до 0,67 °С, во влажном сезоне – от 0,42 до 0,79 °С. Коэффициент вариации C_v равен 1,69...3,14 % во влажном сезоне и 1,57...2,78 % в сухом сезоне. В течение года коэффициенты асимметрии и эксцесса колеблются около нуля с диапазоном от -0,58 до 0,88 для первого и от -1,33 до 0,66 для второго. Мода, медиана и средние

значения температуры воздуха почти совпадают. Все это показывает, что в первом приближении можно считать закон распределения температуры воздуха в бассейне реки Русизи приближающимся к нормальному закону распределения случайных величин.

Анализ многолетних данных температуры воздуха за период 1990–2010 годов показывает, что наблюдается тенденция к увеличению температуры воздуха на 0,95 °С за 30 лет.

Средние декадные изменения атмосферных осадков показаны на рис. 2.

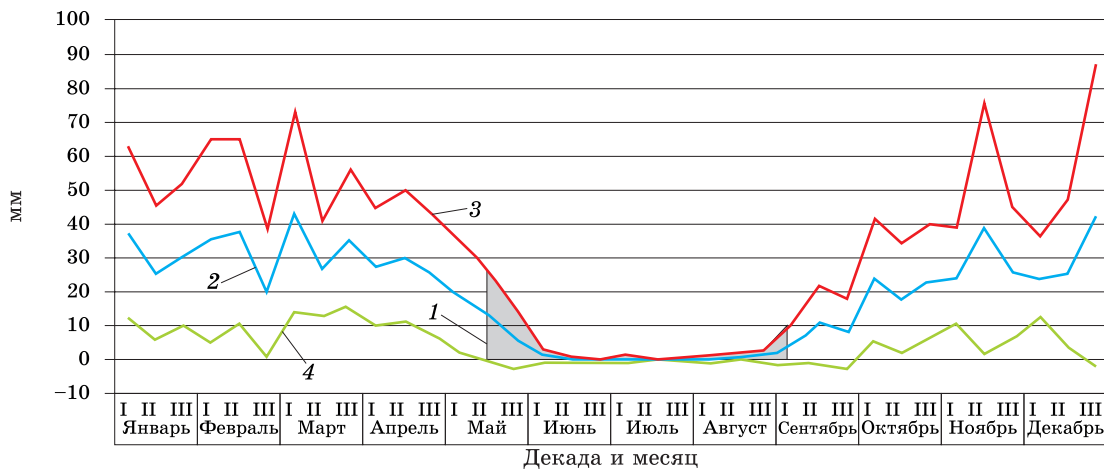


Рис. 2. Изменение средних многолетних величин выпадения атмосферных осадков по декадам и месяцам: 1 – сухой сезон; 2 – среднее декадное выпадение атмосферных осадков; 3 – $P_a = P_{cp} + \sigma$ – среднее декадное выпадение атмосферных осадков плюс среднее квадратическое отклонение; 4 – $P_b = P_{cp} - \sigma$ – среднее декадное выпадение атмосферных осадков минус среднее квадратическое отклонение

По изменению средней многолетней величины атмосферных осадков (в миллиметрах) по декадам можно выделить два сезона: влажный сезон (сентябрь – апрель) и сухой сезон (май – август), где средние декадные атмосферные осадки ниже среднего годового значения. Средняя годовая сумма атмосферных осадков равна примерно 691 мм. Тенденции к направленным изменениям атмосферных

осадков (тренду) не наблюдается. Закон распределения вероятности выпадения атмосферных осадков существенно отличается от нормального закона распределения. Закон распределения температур (воздуха и почвы) близок к нормальному.

Средние декадные изменения относительной влажности воздуха показаны на рис. 3.

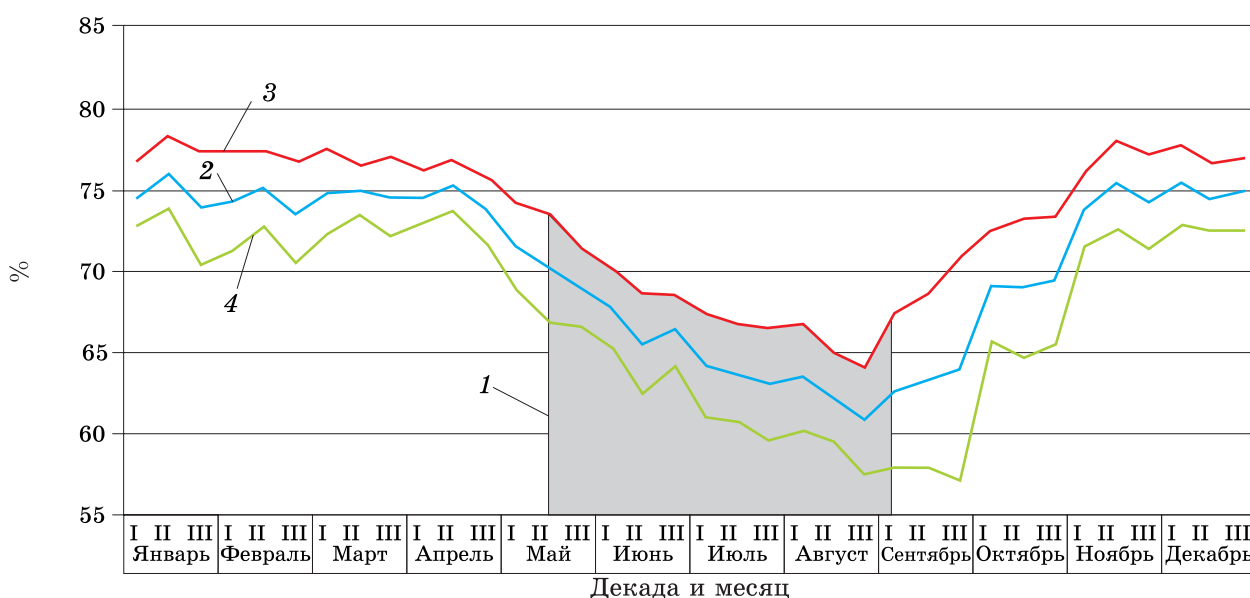


Рис. 3. Изменение средних многолетних величин относительной влажности воздуха по декадам и месяцам: 1 – сухой сезон; 2 – средняя декадная относительная влажность воздуха; 3 – $H_a = H_{cp} + \sigma$ – средняя декадная относительная влажность воздуха плюс среднее квадратическое отклонение; 4 – $H_b = H_{cp} - \sigma$ – средняя декадная относительная влажность воздуха минус среднее квадратическое отклонение

Анализ изменения относительной влажности воздуха показывает, что режим влажности воздуха изменяется от 60,84 до 75,95 %. Низкие значения наблюдаются в сухом сезоне. Годовой режим относительной влажности характеризуется малым варьированием. Закон распределения относительной влажности можно принять как нормальный закон распределения. Тенденции к направленным изменениям относительной влажности не наблюдается.

Выводы

Анализ многолетних данных температуры воздуха и относительной влажности показывает, что кривые распределения этих случайных величин близки к нормальному закону распределения. Эти факторы внешней среды бассейна реки Русизи благоприятны для развития сельскохозяйственных культур во влажный

сезон года. В сухой сезон в связи с практическим отсутствием осадков, высокой испаряемостью и большим коэффициентом стока влажность почвы для роста и развития растений будет, по-видимому, недостаточной. В сухой сезон без орошения продуктивность земледелия мала. Наблюдается тенденция к увеличению среднего месячного температурного воздуха на 0,95 °C за 30 лет. Существенного изменения продуктивности сельскохозяйственных культур при таком изменении параметров внешней среды ожидать не приходится. В зависимости от места расположения посева (склоны, низина, плоский водораздел), а также от экспозиции склона эффект изменения температур может усилиться.

1. Шабанов В. В., Шаршеев Э. С. Методы и результаты обработки информации

для моделирования процессов влагообмена в почве // Природообустройство. – 2009. – № 4. – С. 27–34.

2. **Шабанов В. В., Шаршеев Э. С.** Анализ изменения влажности воздуха в течение года (Юго-Восточная часть Иссык-Кульской котловины): отчет № 500-В от 28.07.2009. – М.: ВИНТИ, 2009. – 41 с.

3. **Шабанов В. В., Шаршеев Э. С.** Статистические характеристики выпадения атмосферных осадков в течение года (Юго-Восточная часть котловины озера Иссык-Куль): отчет № 501-В 2009 от 28.07.2009. – М.: ВИНТИ, 2009. – 41 с.

4. **Шабанов В. В., Шаршеев Э. С.** Материалы и анализ изменения температуры воздуха в Юго-Восточной части котловины озера Иссык-Куль в течение года: отчет № 502-В 2009 от 28.07.2009. – М.: ВИНТИ, 2009. – 39 с.

5. **Шабанов В. В.** Биоклиматическое обоснование мелиораций. – Л.: Гидромете-

теориздат, 1973. – 165 с.

6. **Лосев А. П., Журин П. Л.** Агрометеорология. – М.: КолосС, 2001. – 300 с.

7. **Устименко–Бакумоский Г. В.** Растениеводство тропиков и субтропиков. – М.: Колос, 1980. – 327 с.

8. **Чирков Ю. И.** Агроклиматология. – Л.: Гидрометеоризд, 1986. – С. 101–124.

9. Мелиорация земель / А. И. Голованов [и др.] – М.: КолосС, 2011. – 824 с.

10. **Булдык Г. М.** Теория вероятностей и математическая статистика. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 285 с.

Материал поступил в редакцию 20.02.12.

Шабанов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель».

Тел. 8 (499) 976-47-73

E-mail: svvsh@rambler.ru

Нийонзима Нестор, аспирант

Тел: 8 (499) 153-96-28