

References

1. Kallavus U.L., Gravitis Ya.A. Destruktsiya berezovoy drevesiny i ee komponentov pri vzryvnom avtogidrolize // Stroenie drevesiny i ego rol v protsessakh delignifikatsii. – Riga, 1986. – S. 85-88.
2. Topoltsan T., Tsvikovski T. Kompozitsionnye materialy na osnove termoplastov iz izmelchennoy drevesiny // Khimiya drevesiny. – 1985. – № 1. – S. 98-103.
3. Chemeris M.M., Startsev O.V., Makarychev S.V., Salin B.N. Sintez i fizicheskie svoystva novykh termoplastov na osnove drevesiny // Eksperimentalnye metody v fizike strukturno-neodnorodnykh sred: tez. Vserossiyskoy nauch.-prak. konf. – Barnaul, 1997. – S. 54-57.
4. Salin B.N., Skurydin Yu.G., Chemeris M.M., Startsev O.V., Krotov A.S., Nasonov A.D., Makarychev S.V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv kompozitsionnykh materialov iz drevesiny, poluchennykh bez ispolzovaniya svyazuyushchikh veshchestv // Eksperimentalnye metody v fizike strukturno-neodnorodnykh sred. Trudy Vserossiyskoy tekhnicheskoy konf. – Barnaul, 1997. – S. 47-50.
5. Makarychev S.V., Kolesnikov A.N. Ispolzovanie impulsnogo metoda dlya izmereniya teplofizicheskikh koeffitsientov kompozitsionnykh materialov // Polzunovskiy vestnik. – 1999. – № 3. – S. 40-43.
6. Startsev O.V., Perepechko I.I., Vapironov Yu.M. Dinamicheskie mekhanicheskie svoystva i struktura polimernykh kompozitov s voloknistym napolnitelem v inervale temperatur 77-600 K // Fizika tverdogo tela: Tez. dokladov k mezhvuzovskoy nauch. konf. – Barnaul: Izd-vo Barn. GPI, 1984. – S. 83-84.
7. Makarychev S.V., Kolesnikov A.N. Teplofizicheskie svoystva novykh termoplastov na osnove drevesiny // Problemy i prikladnye voprosy fiziki: Tr. mezhdunarod. konf. – Saransk, 1997. – S. 65-66.



УДК 631.671.1:634.13

И.В. Гефке, А.Г. Болотов, Е.П. Чугузов, Н.А. Гончаров  
I.V. Gefke, A.G. Bolotov, Ye.P. Chuguzov, N.A. Goncharov

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯБЛОНИ  
В УСЛОВИЯХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ**

**MODELING APPLE TREE POTENTIAL PRODUCTIVITY  
UNDER THE CONDITIONS OF THE ALTAI REGION'S OB RIVER AREA**

**Ключевые слова:** тепловой режим почвы, водный режим почвы, необходимость мелиораций, продуктивность яблони.

Изучены тепловой и водный режимы чернозема выщелоченного под яблоней в условиях Алтайского Приобья за 2012-2014 гг. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям. Изучаемый чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с 1 г/см<sup>3</sup> в пахотном горизонте до 1,4 г/см<sup>3</sup> в почвообразующей породе. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6%, что соответствует средним значениям по региону. С помощью модели продуктивности рассчитана относительная продуктивность этой культуры, а также найдены оптимальные условия её произрастания. В качестве входных параметров использованы текущие, максимальные и оптимальные значения факторов, такие как влажность и температура почвы. При этом принималось допущение, что

при экстремальных значениях данных факторов продуктивность плодовой культуры минимальна, а при оптимальных – максимальна. Исследования показали, что средняя за десятилетие продуктивность яблони в естественных условиях Алтайского Приобья составляет 20-30% от максимально возможной. Для достижения максимальной продуктивности плодовых культур в условиях Алтайского Приобья необходимо увеличить продуктивные влагозапасы в 2,3 раза для яблони, при этом размах отклонений от оптимального уровня не должен превышать ±10%. В данном случае средняя продуктивность плодовых насаждений может достигать 90% от максимально возможной урожайности, что можно считать приемлемым при регулируемом практически реализуемом отклонении гидротермического режима почвы от оптимальных факторов среды.

**Keywords:** soil thermal regime, soil water regime, need for melioration, apple tree productivity.

The thermal and water regime of leached chernozem over the period from 2012 to 2014 was studied under the conditions of the Altai Region's Ob River area in apple tree plantings. The particle-size composition of chernozem soil horizons is fairly homoge-

neous throughout all fractions. The studied chernozem is of medium-loamy, close to heavy-loamy silty-coarse-grained composition. The bulk density of chernozem gradually increases with depth from 1 g cm<sup>3</sup> in the arable layer to 1.4 g cm<sup>3</sup> in the parent rock. Humus content in the humus-accumulative horizon is within 5%, and then decreases to 1.9% in the illuvial horizon, and in the horizon transitional to the parent rock it makes 0.6% only, which corresponds to the average values for the region. By using the productivity model, the relative productivity of this crop has been calculated, and the optimal conditions for its growth have been found. The current, maximum and optimal values of the factors as soil moisture content and temperature were used as the input data. It was assumed that at extreme val-

ues of these factors the productivity of this fruit crop would be minimal, and at optimal values – maximum. The studies have shown that under natural conditions of the Altai Region's Ob River area, ten-year average apple tree productivity ranges 20-30% of the maximum possible. To achieve the maximum productivity of fruit crops in the Altai Region's Ob River area, productive soil moisture storage for apple trees should be increased 2.3 times; the range of deviations from the optimal level should not exceed ± 10%. In this case, the average productivity of fruit plantations may reach 90% of the maximum possible; this may be considered acceptable under controlled and implementable deviation of the soil hydrothermal regime from the optimal environmental factors.

**Гефке Ирина Валентиновна**, к.с.-х.н., доцент, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: ivgefke@mail.ru.

**Болотов Андрей Геннадьевич**, д.б.н., проф., каф. метеорологии и климатологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: agbolotov@gmail.com.

**Чугузев Евгений Павлович**, аспирант, каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: chuguzov@mail.ru.

**Гончаров Никита Александрович**, к.с.-х.н., гл. специалист, отдел по строительству, Комитет по строительству, архитектуре и развитию города, г. Барнаула. E-mail: goncharovnikita@mail.ru.

**Gefke Irina Valentinovna**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Physics, Altai State Agricultural University. E-mail: phys\_asau@rambler.ru.

**Bolotov Andrey Gennadyevich**, Dr. Bio. Sci., Prof., Chair of Meteorology and Climatology, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy. E-mail: agbolotov@gmail.com.

**Chuguzov Yevgeniy Pavlovich**, post-graduate student, Altai State Agricultural University. E-mail: chuguzov@mail.ru.

**Goncharov Nikita Aleksandrovich**, Cand. Agr. Sci., Chief Specialist, Committee on City Construction, Architecture and Development, Barnaul. E-mail: goncharovnikita@mail.ru.

### Введение

В нашей стране яблоня считается ведущей плодовой культурой, при этом её насаждения занимают около половины площади всех плодовых культур. Сортимент плодовых культур, яблони, для сибирского садоводства формировался с учетом разнообразных суровых природно-климатических условий огромного региона Западной и Восточной Сибири [1], где выращивают в основном ранетки и полукультурки, а также крупноплодные сорта. При этом плоды сибирских яблонь богаче южных и европейских в 1,5-2,5 раза пектиновыми веществами, в них содержится в 3-5 раз больше витаминов С и Р. Известно, что требования растений группируются по трем основным факторам: водный, питательный и тепловой. Необходимость орошения плодовых культур может быть обоснована только при анализе одновременного воздействия температурных и водных условий почвы при оптимальном питательном режиме. Например, в условиях с достаточно низкими температурами, даже если вероятность необходимости орошения будет велика, эффекта от орошения не будет, т.к. продуктивность растений определяется

лимитирующим фактором среды. Получение высоких урожаев яблони в условиях Алтайского края в основном лимитировано водным и тепловым режимом. Яблоня является влаголюбивой породой. Больше всего она расходует воду в период цветения и усиленного роста побегов, листьев и корней, то есть в первую половину лета. Значительное количество воды затрачивается на рост плодов. В связи с этим водные мелиорации являются наиболее действенным фактором повышения продуктивности плодовых культур в условиях недостаточного увлажнения.

**Цель** исследований заключается в моделировании продуктивности яблони при обосновании оросительных мелиораций.

**Задачи:** экспериментальное измерение температуры и влажности почвы под яблоней; на основе моделирования оценка зависимости продуктивности яблони от этих факторов; формирование основ регулирования гидротермического режима почвы под яблоней в условиях Алтайского Приобья.

### Объект и методы исследований

Исследования были организованы в НИИ садоводства им. М.А. Лисавенко на участ-

как сортоиспытания. Объектом является чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный среднесуглинистый. Опытные участки размещены на южной окраине города Барнаула, на высоком левом берегу реки Оби.

В течение вегетационных периодов 2012-2014 гг. были измерены температура и влажность чернозема выщелоченного под яблоневыми культурами 1996 г. посадки. Изучение теплового режима почвы проведено с помощью полевого измерителя температуры, основанного на технологии 1-Wire с применением датчиков DS18B20, производства фирмы «Dallas Semiconductor – Maxim» [2, 3]. Полевая влажность определена термостатно-весовым способом [4].

Зависимость продуктивности растения от факторов внешней среды может быть описана различными функциями [5]. Зависимость продуктивности растения от факторов внешней среды представлена моделью [6]:

$$S = \left( \frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma \varphi_{opt}} \left( \frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{\gamma (\varphi_{max} - \varphi_{opt})}$$

где  $S$  – относительная продуктивность;

$\varphi$  – текущее значение фактора;

$\varphi_{max}$  – максимальное значение фактора;

$\varphi_{opt}$  – оптимальное значение фактора;

$\gamma$  – коэффициент саморегулирования растения.

Эти зависимости позволяют получить границы экологической ниши при разных уровнях  $S$ : в двухфакторном случае такая ниша

может быть очерчена эллипсом, а в трехмерном – эллипсоидом. Например, при рассмотрении в качестве переменных водного ( $W$ ) и теплового ( $t$ ) факторов зависимость можно представить в виде колоколообразной фигуры (рис.). Она построена на следующих осях: аппликата – степень оптимальности, выраженная через относительную продуктивность; абсцисса – водный фактор (продуктивные влагозапасы в почве); ордината – тепловой фактор (температура почвы).

### Результаты и обсуждение

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный среднесуглинистый. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям. Изучаемый чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый состав. Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных горизонтов и относится к тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу, в основном за счет меньшего содержания фракции мелкого песка и повышенного – мелкой пыли. Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с  $1 \text{ г/см}^3$  в пахотном горизонте до  $1,4 \text{ г/см}^3$  в почвообразующей породе. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1% в иллювиальном горизонте, а в переходном к почвообразующей породе составляет лишь 0,6% [7], что соответствует средним значениям по региону [8, 9].

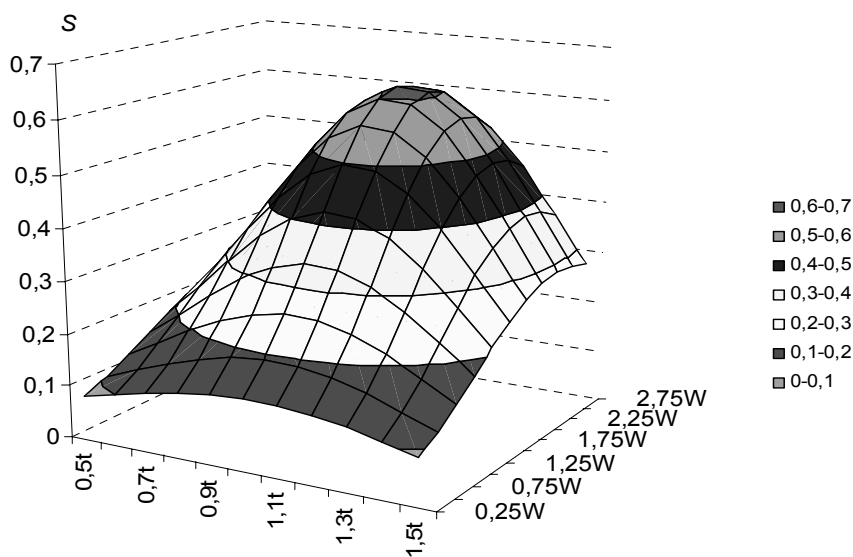


Рис. 1. Зависимость средней продуктивности при изменении температуры и влажности почвы. Яблоня

Рассмотрим зависимость средней продуктивности яблоневых культур в условиях сада при изменении температуры и влажности чернозема выщелоченного (рис. 1). Результаты представлены в трехмерном виде доступных влагозапасов в слое 0-100 см и температуры почвы на глубине 20 см.

Анализ рисунка 1 показывает, что средняя за десятилетие продуктивность яблони в естественных условиях Алтайского Приобья составляет всего 20-30% от максимально возможной, при этом абсолютное значение урожайности равно 25-60 ц/га, что соответствует реальным значениям, полученным за многие годы исследований академиком С.Н. Хабаровым (2009). Средне-многолетние температуры почвы для яблони следует признать оптимальными.

При увеличении продуктивных запасов в черноземе в 2,25 раза продуктивность яблони увеличится до 60% от максимальной, что не совсем достаточно для полного использования яблоневых культур в условиях Алтайского Приобья.

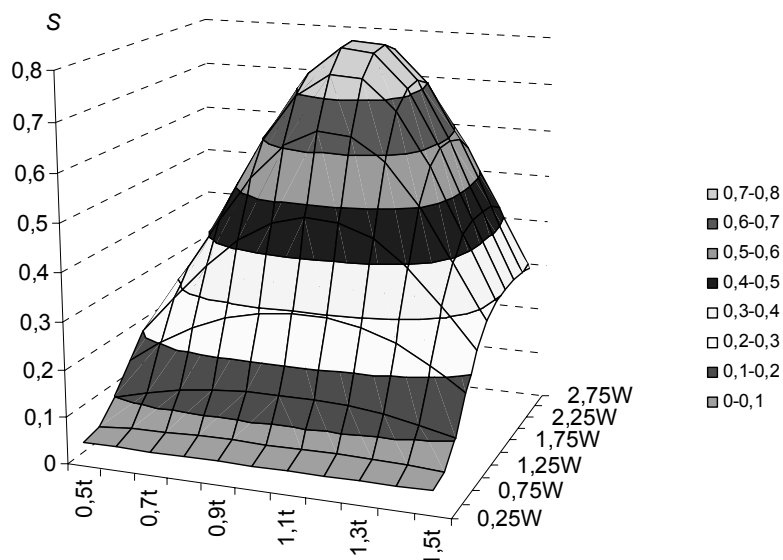
На рисунке 1 также видно, что диапазон регулирования гидротермического режима под плодовыми культурами достаточно высок. Поэтому нами был продолжен поиск путей возможного увеличения продуктивности данной культуры. Была предложена рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что на величину продуктивности влияют не только средние значения параметров, но и их среднеквадратические отклонения от среднего, что связано с дополнительными энергозатратами растения на поддержание своей жизнедеятельности в неустойчивых условиях внешней среды. Для этого были проведены дополнительное вычислительное моделирование продуктивности плодовых культур при изменении среднеквадратических отклонений продуктивных влагозапасов и температур почвы.

Регулирование влажности почвы искусственным способом подразумевает поддержание оптимальных влагозапасов воды ( $W_{opt}$ ) в некотором диапазоне увлажнения. При использовании современных систем капельного полива или внутрпочвенного орошения в условиях плодового сада, на наш взгляд, технически достижимо поддерживать влагосодержание почвы в диапазоне легкодоступной влаги, что способствует максимальному развитию культуры при оптимальном тепловом и пищевом режимах почвы. Для чернозема выщелоченного Алтайского Приобья вариабельность влагозапасов в диапазоне легкодоступной

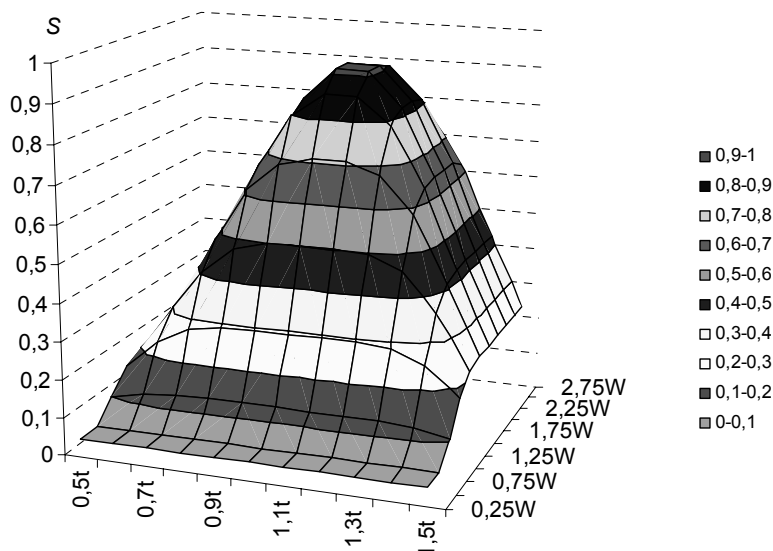
влаги относительно  $W_{opt}$  составляет  $\pm 20\%$ . Уменьшение среднеквадратического отклонения колебания влажности почвы ( $\delta_W$ ) относительно  $W_{opt}$  при регулировании водного режима позволит повысить урожайность культуры, т.к. растение будет подвержено водному стрессу в меньшей мере, чем при значительных величинах  $\delta_W$ . В предельном случае при  $\delta_W \rightarrow 0$  продуктивность максимальна. Исследуем изменение относительной продуктивности яблони в условиях Алтайского Приобья при  $\delta_W = \delta_t = \pm 20\%$  от  $W_{opt}$  и  $t_{opt}$  (рис. 2). Это позволит выработать практические рекомендации регулирования гидротермического режима под плодовыми насаждениями в данной почвенно-климатической зоне.

Анализируя рисунок 2, можно сделать вывод, что при уменьшении  $\delta_W$  и  $\delta_t$  от величин, полученных для естественных условий, до значений  $\delta_W = 0,2W_{opt}$ ,  $\delta_t = 0,2t_{opt}$  при условии применения средних факторов среды (почвы), найденных выше ( $2,25 \cdot W_{opt}$ ,  $1,2 \cdot t_{opt}$ ), средняя продуктивность яблони увеличивается до 80% от максимально возможной урожайности. При этом для данного варианта гидротермического режима чувствительность продуктивности культур к изменению продуктивных влагозапасов и температур почвы уменьшилась в области низких значений продуктивности. Для достижения максимальной продуктивности среднеквадратическое отклонение от средних значений изучаемых факторов было уменьшено до 10%. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

При уменьшении  $\delta_W$  и  $\delta_t$  до значений  $\delta_W = 0,1W_{opt}$ ,  $\delta_t = 0,1t_{opt}$  при условии применения средних факторов среды (почвы), найденных выше ( $2,25 \cdot W_{opt}$ ,  $1,2 \cdot t_{opt}$ ), средняя продуктивность яблони может достигать 90% от максимально возможной урожайности, что можно считать приемлемым при регулируемом практически реализуемом отклонении гидротермического режима от оптимальных факторов среды. Также можно отметить, что дальнейшее уменьшение  $\delta$  привело к еще большему уменьшению чувствительности продуктивности культур к изменению продуктивных влагозапасов и температуры почвы в области низких значений продуктивности, что связано с увеличением крутизны «купола продуктивности».



**Рис. 2. Зависимость средней продуктивности при изменении температуры и влажности почвы,  $\delta_W = 0,2W_{opt}$ ,  $\delta_t = 0,2t_{opt}$ . Яблоня**



**Рис. 3. Зависимость средней продуктивности при изменении температуры и влажности почвы,  $\delta_W = 0,1W_{opt}$ ,  $\delta_t = 0,1t_{opt}$ . Яблоня**

**Выводы**

Средняя за десятилетие продуктивность яблони в естественных условиях Алтайского Приобья составляет 20-30% от максимально возможной. Для достижения максимальной продуктивности плодовых культур в условиях Алтайского Приобья необходимо увеличить продуктивные влагозапасы в 2,3 раза для яблони, при этом размах отклонений от оптимального уровня не должен превышать  $\pm 10\%$ . В данном случае средняя продуктивность плодовых насаждений может достигать 90% от максимально возможной урожайности, что можно считать приемлемым при регулируемом практически реализуемом отклонении гидротермического режима почвы от оптимальных факторов среды.

**Библиографический список**

1. Калинина И.П. Совершенствование сибирского сорта плодовых и ягодных культур // Научно-экономические проблемы регионального садоводства: матер. науч.-практ. конф. – Барнаул, 2003. – С. 20-33.
2. Болотов А.Г. Измерение температуры почвы с помощью технологии 1-Wire // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 11. – С. 29-30.
3. Макарычев С.В., Беховых Ю.В., Болотов А.Г. Система термостатирования для исследования теплофизических свойств почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6. – С. 23-27.

4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

5. Шейн Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении: учебник. – М.: Изд-во ИП Маракушев А.Б., 2016. – 377 с.

6. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций. – М.: Гидрометеоздат, 1973. – 128 с.

7. Макарычев С.В., Гефке И.В., Шишкин А.В. Теплофизическое состояние черноземов плодовых садов Алтайского Приобья. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 192 с.

8. Болотов А.Г., Дубский С.Н., Шаталов А.Н., Шаталов А.Н., Бутырин И.Н., Кузнецов Е.Н., Гончаров И.А., Гончаров Н.А. Моделирование основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-35.

9. Макарычев С.В. Особенности теплофизического состояния пахотных выщелоченных черноземов Приобья // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 949-953.

#### References

1. Kalinina I.P. Sovershenstvovanie sibirskogo sortimenta plodovykh i yagodnykh kultur // Nauchno-ekonomicheskie problemy regionalnogo sadovodstva: materialy nauch.-prakt. konf. – Barnaul, 2003. – S. 20-33.

2. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochvy s pomoshchyu tekhnologii 1-Wire // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrar-

nogo universiteta. – 2012. – № 11. – S. 29-30.

3. Makarychev S.V., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G. Sistema termostatirovaniya dlya issledovaniya teplofizicheskikh svoystv pochv // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 6. – S. 23-27.

4. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. – М.: Agropromizdat, 1986. – 416 с.

5. Shein E.V., Ryzhova I.M. Matematicheskoe modelirovanie v pochvovedenii: uchebnik. – М.: Izd-vo IP Marakushev A.B., 2016. – 377 с.

6. Shabanov V.V. Bioklimaticheskoe obosnovanie melioratsiy. – М.: Gidrometeoizdat, 1973. – 128 с.

7. Makarychev S.V., Gefke I.V., Shishkin A.V. Teplofizicheskoe sostoyanie chernozemov plodovykh sadov Altayskogo Priobya. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2008. – 192 с.

8. Bolotov A.G., Dubskiy S.N., Shatalov A.N., Shatalov A.N., Butyrin I.N., Kuznetsov E.N., Goncharov I.A., Goncharov N.A. Modelirovanie osnovnoy gidrofizicheskoy kharakteristiki chernozemov Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 2. – S. 31-35.

9. Makarychev S.V. Osobennosti teplofizicheskogo sostoyaniya pakhotnykh vishchelochennykh chernozemov Priobya // Pochvovedenie. – 2007. – № 8. – S. 949-953.



УДК 631.53 (571.150) В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев, Е.С. Ткачук, А.А. Каштанов  
V.L. Tatarintsev, L.M. Tatarintsev, Ye.S. Tkachuk, A.A. Kashtanov

### ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ АГРОЛАНДШАФТОВ И ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В АЛТАЙСКОЙ КУЛУНДЕ

#### STRUCTURE OPTIMIZATION OF AGROLANDSCAPES AND AREAS UNDER CROPS IN THE ALTAI KULUNDA

**Ключевые слова:** Алтайская Кулунда, агроландшафты, структура посевных площадей, земли сельскохозяйственного назначения, средостабилизирующие угодья, почвозащитные севообороты.

Агроэкологическая ситуация сухостепной подзоны является неблагоприятной в силу исключительности природно-климатических условий. Для снижения антропогенного влияния необходима другая система землепользования, направленная

на повышение устойчивости агроландшафтов и рост их продуктивности. При ведении сельскохозяйственного производства при определении специализации следует максимально учитывать устойчивость и целостность природно-территориальных комплексов (ландшафтов). Главным элементом комплекса по оптимизации агроландшафта является создание защитных лесонасаждений. Задачи исследования: изучить современное землепользование в сухостепной Кулунде; предложить мероприятия по экологической оптимизации