

Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58



УДК 633.16:631.52:[577.114]

Поступление/Received: 21.08.2020

Принято/Accepted: 01.03.2021

В. И. ПОЛОНСКИЙ^{1, 5}, Н. А. СУРИН², С. А. ГЕРАСИМОВ^{2*},
А. Г. ЛИПШИН², А. В. СУМИНА³, С. А. ЗЮТЕ⁴

¹ Красноярский государственный аграрный университет,
660049 Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 90

✉ vadim.polonskiy@mail.ru

² Красноярский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства – обособленное подразделение
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
Красноярский научный центр СО РАН»,
660036 Россия, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50

✉ g-s-a2009@yandex.ru

³ Хакасский государственный университет
им. Н.Ф. Катанова,

655000 Россия, Республика Хакассия, г. Абакан,
ул. Ленина, 90

✉ alenasumina@list.ru

⁴ Стендский научный центр,
Институт агроресурсов и экономики,
Дизстенде, Либаская волость,
Талсинский край LV 3258, Латвия

✉ sanita.zute@arei.lv

⁵ Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

✉ vadim.polonskiy@mail.ru

Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia

V. I. POLONSKIY^{1, 5}, N. A. SURIN², S. A. GERASIMOV^{2*},
A. G. LIPSHIN², A. V. SUMINA³, S. A. ZUTE⁴

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University,
90 Mira Ave., Krasnoyarsk 660049, Russia

✉ vadim.polonskiy@mail.ru

² Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture,
affiliated to Krasnoyarsk Scientific Center,
Siberian Branch of the RAS,
50 Akademgorodok St.,
Krasnoyarsk 660036, Russia

✉ g-s-a2009@yandex.ru

³ N.F. Katanov Khakass State University,
90 Lenina St, Abakan 655000,
Republic of Khakassia, Russia

✉ alenasumina@list.ru

⁴ Stende Research Centre,
Institute of Agricultural Resources
and Economics, Dizstende, Libagu Parish,
Talsu District LV 3258 Latvia

✉ sanita.zute@arei.lv

⁵ Siberian Federal University,
79 Svobodny Ave.,
Krasnoyarsk 660041, Russia

✉ vadim.polonskiy@mail.ru

Актуальность. Центральное место в селекции занимает проблема повышения качества зерна для создания сортов ячменя кормового, крупяного и пивоваренного направлений. Цель исследований состояла в выявлении образцов ячменя с минимальным и максимальным содержанием β -глюканов в зерне в сочетании с улучшенными другими ценными признаками.

Материалы и методы. Объектом анализа служили 18 пленчатых и 8 голозерных образцов ячменя коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) различного эколого-географического происхождения, которые выращивали в условиях Восточной Сибири в 2016–2018 гг.

Результаты и обсуждение. По минимальному значению рассматриваемого качественного признака (3,18–3,43%) выделены сорта сибирской селекции – ‘Маяк’ (к-29622, Красноярский край), ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) и сорт ‘AC Albright’ (к-30599, Канада), по максимальному (5,06–5,21%) – голозерные образцы Нудум 155 (к-13328, Украина) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.). Наибольшее содержание белка в зерне (16,63–18,36%) выявлено у образцов Нудум 155, Нудум 7566 (к-29453, Киргизия) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.). Одновременно высоким содержанием β -глюканов и белка в зерне характеризовались образцы Нудум 155 и ‘Нудум 95’. Скороспелость и повышенную урожайность показали образцы – ‘Тарский 3’, ‘Колчан’ (к-31039, Алтайский край), ‘Золотник’ (к-30845,

Background. The aim of the research was to identify barley germplasm accessions with the minimum and maximum content of β -glucans in their grain in combinations with other improved useful traits.

Material and methods. The material for analysis were 18 hulled and 8 naked barley accessions of various ecogeographic origin from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), which were grown under the conditions of Eastern Siberia in 2016–2018.

Results. Hulled accessions yielded grains with β -glucan content from 3.18 to 4.51%; naked ones, from 3.18 to 5.21%. According to the minimum value of the studied qualitative trait (3.18–3.43%), cultivars of Siberian breeding were identified: ‘Mayak’ (k-29622, Krasnoyarsk Territory) and ‘Tarsky 3’ (k-30719, Omsk Province), plus cv. ‘AC Albright’ (k-30599, Canada); according to the maximum value (5.06–5.21%), the naked accessions Nudum 155 (k-13328, Ukraine) and ‘Nudum 95’ (k-31125, Chelyabinsk Province). The highest protein content in grain (16.63–18.36%) was found in the accessions Nudum 155, Nudum 7566 (k-29453, Kyrgyzstan) and ‘Nudum 95’. The accessions Nudum 155 and ‘Nudum 95’ were characterized by combined high contents of β -glucans and protein in their grain. Early maturity and increased productivity were shown by the cultivars ‘Tarsky 3’, ‘Kolchan’ (k-31039, Altai Territory), ‘Zolotnik’ (k-30845, Altai Territory), ‘Abalak’ (Krasnoyarsk Territory, Tyumen Province), and ‘AC Albright’ (Canada). A significant

Алтайский край), 'Абалак' (Красноярский край, Тюменская обл.), 'AC Albright' (Канада).

Заключение. По содержанию β -глюканов в зерне в сочетании с другими ценными характеристиками представляют интерес для селекции на совершенствование сортов фуражного направления образцы 'Маяк', 'Тарский 3' и 'AC Albright', а для селекции сортов крупяного назначения – 'Нудум 95' и Нудум 155.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., оценка, зерно, белок, масса 1000 зерен, натура, вегетационный период, урожайность.

positive relationship was found between the content of β -glucans and the weight of 1000 grains in both forms of barley.

Conclusion. According to β -glucan content combined with other valuable characteristics in grain, the accessions 'Mayak', 'Tarsky 3' and 'AC Albright' are of interest for the improvement of fodder cultivars, while 'Nudum 95' and Nudum 155 are promising for breeding for food.

Key words: *Hordeum vulgare* L., barley, assessment, grain, protein, 1000 grain weight, test weight, growing season, yield.

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) по сравнению с другими зерновыми культурами обладает ценными биологическими особенностями, такими как скороспелость, повышенная устойчивость к ранневесенним засухам и низким температурам, способность к формированию высококачественного зерна в условиях дождливой и прохладной осени (Surin et al., 2011). Зерно ячменя содержит практически полный набор незаменимых аминокислот, включая особо дефицитные – лизин и триптофан, превосходя по их содержанию пшеницу и кукурузу (Garkavy, Pylneva, 1980). Среди других важных химических веществ, входящих в состав зерна, следует отметить наличие специфических полисахаридов, так называемых β -глюканов, которые, как известно, способны оказывать профилактическое и лечебное воздействие на организм человека (Harland, 2014; Loskutov, Polonskiy, 2017). В частности, отмечено, что пищевые волокна зерна активизируют иммунную систему человека, обладают противовоспалительным действием, нейтрализуют опасное воздействие свободных радикалов, оказывают противоопухолевое и противоаллергическое действие (Sagnelli et al., 2018; Vozbulut et al., 2019). Положительный эффект у человека заключается в снижении концентрации глюкозы, общего холестерина, липопротеидов низкой плотности и триглицеридов в крови (Behall et al., 2004).

В то же время повышенная концентрация β -глюканов в зерне снижает питательную ценность корма, препятствуя его эффективному усвоению нежвачными животными из-за образования слизи в желудочно-кишечном тракте. Это приводит к снижению прироста живой массы и ухудшению их внешнего вида (Shivus, Gullord, 2002).

Кроме того, очень важно, чтобы зерно ячменя, предназначенное на пивоваренные цели, имело низкое содержание специфических полисахаридов клеточной стенки и отличалось быстрым синтезом ферментов, способных гидролизовать такие пищевые волокна (Bedford et al., 1991).

Поэтому при создании специализированных сортов ячменя кормового, крупяного и пивоваренного направлений целесообразно наличие информации о содержании β -глюканов в зерне различных перспективных генотипов (Zhu et al., 2016). В условиях Восточной Сибири нами ранее была проведена предварительная оценка по содержанию β -глюканов в зерне сортов другой зерновой культуры – овса (Polonskiy et al., 2019; Gerasimov et al., 2020). К сожалению, такие данные по ячменю в литературе практически отсутствуют, и лишь отдельные публикации последних лет указывают на важность расширения исследований в этом направлении (Polonskiy, Sumina, 2013; Martínez et al., 2018).

Цель работы – выявление образцов ячменя с минимальным и максимальным содержанием β -глюканов в зерне в сочетании с повышенным содержанием белка, натурой зерна, массой 1000 зерен, скороспелостью и урожайностью.

Материалы и методы

Объектами изучения служили 18 пленчатых и 8 голозерных образцов ячменя из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 7 из которых имели зарубежное происхождение, остальные преимущественно были представителями сибирской селекции (табл. 1).

Исследования проводили в 2016–2018 гг. на опытных полях Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства (КрасНИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН), расположенных в лесостепной зоне Восточной Сибири. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным маломощным, характеризующимся агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 6,00%, N-NO₃ (ионометрический экспресс-метод) – 31,3 мг/кг почвы, P₂O₅ (по Мачигину) – 5,00 мг/100 г почвы, K₂O (по Мачигину) – 21,9 мг/100 г почвы; реакция почвенного раствора близка к нейтральной (рН 6.2). Предшественник – чистый пар. Площадь делянки – 1,8 м². Посев проведен в оптимальные для культуры сроки, во вторую декаду мая, уборку образцов осуществляли по мере их созревания. Погодные условия в Красноярской лесостепи в годы исследования были контрастными: 2016 и 2017 г. – влажные (ГТК – 1,59 и 1,47); 2018 г. – засушливый (ГТК – 0,75). В полевых условиях отмечали длину вегетационного периода растений. После уборки зерна определяли его физические и химические характеристики в каждом образце: массу 1000 зерен по методике ВИР (Loskutov et al., 2012), натуру – известным микрометодом (Walker, Panozzo, 2011), содержание белка и β -глюканов – на автоматическом зерновом анализаторе InfraTec Analyzer 1241 (Munck, 2005) с использованием 50 мл кюветы. Компания ООО EIRA (официальный представитель FOSS Analytical Ltd. в Латвии) разработала калибровочную модель для определения β -глюканов в зерне. Данные из 150 образцов зерна зерновых культур, проанализированные методами АОАС 995.16 и ICC № 168 для β -глюкана (Megasyme), были использованы для разработки модели калибровки. Калибровочная модель регулируется ежегодно с дополнительными 20–30 данными по эталонному методу. Стандартная ошибка измерения на приборе составляла 0,3%. Повторность определения каждого показателя двукратная. Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность различий результатов оценивали при $p \leq 0,05$.

Таблица 1. Образцы ячменя, используемые в исследовании

Table 1. Barley accessions used in the study

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	<i>Hordeum vulgare</i> L. разновидность / variety	Происхождение / Origin
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions			
30243	Ача (стандарт / Acha (reference))	<i>nutans</i>	Новосибирская область / Novosibirsk Province
30984	Биом / Biom	<i>nutans</i>	– “ –
–	Танай / Tanay	<i>nutans</i>	– “ –
46502	Талан / Talan	<i>nutans</i>	– “ –
30245	Соболек / Sobolek	<i>ricotense</i>	Красноярский край / Krasnoyarsk Territory
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	<i>nutans</i>	– “ –
–	Емеля / Yemelya	<i>ricotense</i>	– “ –
29622	Маяк / Mayak	<i>nutans</i>	– “ –
–	Абалак / Abalak	<i>nutans</i>	Красноярский край, Тюменская область / Krasnoyarsk Territory, Tyumen Province
30977	Омский 96 / Omsky 96	<i>nutans</i>	Омская область / Omsk Province
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	<i>pallidum</i>	– “ –
30845	Золотник / Zolotnik	<i>medicum</i>	Алтайский край / Altai Territory
31039	Колчан / Kolchan	<i>ricotense</i>	– “ –
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	<i>nutans</i>	– “ –
–	Салаир / Salair	<i>nutans</i>	– “ –
30970	Княжич / Knyazhich	<i>nutans</i>	Белгородская область / Belgorod Province
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	<i>nutans</i>	Ростовская область / Rostov Province
30599	АС Albright	<i>pallidum</i>	Канада / Canada
Голозерные образцы / Naked barley accessions			
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerny 1 (reference)	<i>nudum</i>	Омская область / Omsk Province
27471	Korona Laschego	<i>celestes</i>	Польша / Poland
30167	CDC Richard	<i>nudum</i>	Канада / Canada
31108	CDC McGuire	<i>nudum</i>	– “ –
30956	NS GL 1	<i>nudum</i>	Югославия / Yugoslavia
13328	Нудум 155 / Nudum 155	<i>nudum</i>	Украина / Ukraine
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	<i>nudum</i>	Киргизия / Kyrgyzstan
31125	Нудум 95 / Nudum 95	<i>nudum</i>	Челябинская область / Chelyabinsk Province

Результаты

В Восточно-Сибирском регионе нами впервые проведена оценка образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне. Обращает на себя внимание, что указанный биохимический показатель подвержен заметному варьированию в зависимости от генотипа и погодных условий года выращивания (табл. 2).

В наших опытах стабильно низкий уровень β -глюканов имели сорта красноярской – ‘Маяк’ (к-29622), ‘Емеля’ (Красноярский край) (3,4...3,6%) и омской селекции – ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) (3,2%), а также канадский сорт ‘AC Albright’ (к-30599, Канада) (3,4%). Наиболее высоким уровнем β -глюканов в зерне характеризуются голозерные сорта Нудум 155 (к-13328, Украина) (5,1%) и ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.) (5,2%). При этом отмечено, что наименьшим варьированием указанного биохимического признака во все годы изучения выделяются пленчатые сорта ‘Красноярский 80’ (к-27102), ‘Емеля’ и ‘Салаир’ (Алтайский край), среди голозерных ячменей – сорт ‘Нудум 95’. Голозерные образцы в целом отличались более высокой концентрацией β -глюканов в зерне по сравнению с пленчатыми ячменями.

В процессе изучения исходного материала ячменя вместе с β -глюканами определяли содержание белка в зерне. Этот показатель качества зерна, как известно, зависит от генотипа, природно-климатических факторов и агротехнических приемов выращивания (Kondratenko et al., 2015). Условия Восточно-Сибирского региона позволяют выращивать сорта ячменя кормового направления с повышенной концентрацией белка в зерне. Как видно из таблицы 2, максимальным содержанием белка в зерне характеризовались пленчатые сорта ‘Танай’ (Новосибирская обл.), ‘Золотник’ (к-30845, Алтайский край), ‘Биом’ (к-30984, Новосибирская обл.); в группе голозерных образцов – Нудум 155, Нудум 7566 (к-29453, Киргизия) и ‘Нудум 95’. Наиболее стабильное количество белка в зерне по годам выращивания было выявлено у сортов новосибирской селекции ‘Ача’ (к-30243) и ‘Талан’ (к-46502), а также у зарубежных образцов NS GL 1 (к-30956, Югославия) и Нудум 7566. Отметим, что голозерные образцы ячменя превосходили по этому признаку пленчатые сорта – соответственно 13,9–18,4 и 12,6–15,3%. Особую ценность в селекции на качество зерна представляют высокобелковые сорта пленчатого ячменя ‘Биом’, ‘Танай’ и ‘Золотник’, а также голозерные образцы NS GL 1, Нудум 155, Нудум 7566 и ‘Нудум 95’.

Важно отметить, что раннеспелые сорта пленчатого ячменя ‘Биом’ и ‘Золотник’ накапливают более 15,0% белка в отличие от других изучаемых сортов и представляют интерес в селекции на качество зерна.

Одной из важнейших характеристик любого сорта является продолжительность вегетационного периода. К числу наиболее скороспелых (68–72 дн.) нами отнесены сорта алтайской – ‘Колчан’ (к-31039), ‘Золотник’ и омской селекции – ‘Тарский 3’, среди зарубежных образцов – ‘AC Albright’ (Канада) и Нудум 155 (Киргизия), при вегетационном периоде стандартного сорта ‘Ача’ – 76 дней (табл. 3).

Масса 1000 зерен является одним из основных элементов продуктивности, от которого зависят технологические и биохимические характеристики зерна. К группе пленчатых сортов с высокой массой 1000 зерен (50,3–51,4 г) нами были отнесены сорта местной селекции – ‘Красноярский 80’ и ‘Маяк’. Среди голозерных форм наиболее крупное зерно (52,3–53,4 г) сформировали образ-

цы Нудум 155 и ‘Нудум 95’. В среднем голозерные формы ячменя по этому показателю практически не отличались от пленчатых.

Как известно, важное значение в использовании зерна на производство крупы и других продуктов питания имеет величина его природы. Этот показатель обусловлен в основном условиями выращивания растений и уровнем содержания питательных веществ в почве (Svirikova et al., 2019). Как показали полученные результаты, все образцы имели сравнительно высокую природу зерна, свыше 550 г/л (см. табл. 3). Максимальной величиной характеризовались сорт новосибирской селекции ‘Танай’ и образец NS GL 1 из Югославии. При этом голозерные формы ячменя отличались более высокой природой зерна относительно пленчатых. В среднем в зависимости от генотипа и условий года значение этого показателя зерна варьировало у голозерных образцов в пределах 731–872 г/л, у пленчатых – 608–719 г/л.

Интегрированным показателем продуктивности сортов является его урожайность (Creissen et al., 2016). Высокую продуктивность сформировали сорта сибирской селекции ‘Колчан’, ‘Ворсинский 2’ (к-31109, Алтайский край), ‘Талан’, ‘Тарский 3’, ‘Абалак’ и канадский сорт – ‘AC Albright’ (см. табл. 3). В отличие от показателей качества зерна, по которым голозерные формы превышали пленчатые, по уровню урожайности первые заметно уступили. По нашему мнению, пониженная продуктивность голозерных ячменей обусловлена главным образом меньшей озерненностью колоса и слабой продуктивной кустистостью.

В процессе исследований были рассчитаны коэффициенты корреляции между биохимическими, физическими и продукционными показателями зерна различных образцов ячменя. Из данных, представленных в таблице 4, можно видеть наличие существенных положительных связей между массой 1000 зерен, с одной стороны, и содержанием в них β -глюканов и белка, с другой. В последнем случае эффект найден лишь у пленчатых форм.

Оценка изучаемых образцов ячменя по различным показателям позволила провести их ранжирование по комплексу хозяйственно-полезных признаков. Полученные результаты приведены по трем лучшим по каждому признаку образцам ячменя в таблице 5. Отмечено, что по содержанию β -глюканов в зерне, скороспелости и урожайности лучшим для селекции ячменя кормового направления оказался сорт омской селекции ‘Тарский 3’. Для дальнейшей селекции ячменя крупяного направления на повышенный уровень β -глюканов и белка в зерне можно рекомендовать использование двух голозерных образцов Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.).

Полученные нами данные о содержании β -глюканов в зерне подтвердили известный факт, свидетельствующий о том, что высокопродуктивные образцы характеризуются пониженным качеством по сравнению с менее урожайными. Зарегистрированный результат отрицательной (и неустойчивой) корреляции между уровнем β -глюканов в зерне ячменя и величиной его урожая согласуется с выводами Э. Ханга с коллегами (Hang et al., 2007). Следует отметить, что по минимальному содержанию β -глюканов в зерне выделились преимущественно шестирядные образцы ‘Тарский 3’, ‘AC Albright’, из двурядных – сорт ‘Маяк’. При этом ценность шестирядных сортов для фуражного использования ячменя заключается в комплексном использовании зерна и зеленой массы особенно гладкоостых сортов, что повышает их кор-

**Таблица 2. Биохимические показатели зерна ячменя образцов коллекции ВИР
(средние данные за 2016–2018 гг.)****Table 2. Biochemical indicators of barley grain in the germplasm accessions from VIR (averaged data for 2016–2018)**

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	Содержание в зерне, % / Content, %			
		белка / protein		β-глюканов / β-glucans	
		\bar{x}	Cv	\bar{x}	Cv
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions					
30243	Ача (стандарт) / Acha (reference)	13,95	2,8	4,51	10,4
30984	Биом / Biom	15,30	4,3	3,89	14,0
-	Танай / Tanay	15,01	1,3	4,15	13,0
46502	Талан / Talan	13,69	2,7	4,14	6,4
30245	Соболек / Sobolek	12,33	9,7	3,68	8,1
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	14,36	10,1	3,92	3,8
-	Емеля / Yemelya	13,93	8,5	3,56	5,5
29622	Маяк / Mayak	14,70	10,8	3,43	7,0
-	Абалак / Abalak	13,63	5,4	4,30	13,9
30977	Омский 96 / Omsky 96	14,15	8,0	3,77	11,9
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	13,21	8,5	3,18	8,0
30845	Золотник / Zolotnik	15,04	6,3	4,38	14,7
31039	Колчан / Kolchan	12,59	8,2	3,99	9,3
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	13,73	18,3	4,03	22,8
-	Салаир / Salair	13,38	14,2	4,42	5,0
30970	Княжич / Knyazhich	14,95	7,4	3,97	6,6
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	13,29	6,6	3,80	6,5
30599	АС Albright	13,88	6,7	3,39	9,4
Среднее по группе / Group average		13,95	7,8	3,92	9,79
НСР₀₅		1,30		0,40	
Голозерные образцы / Naked barley accessions					
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerly 1 (reference)	15,76	6,6	4,30	10,1
27471	Korona Laschego	14,68	8,6	3,81	8,7
30167	CDC Richard	14,13	7,3	3,83	13,6
31108	CDC McGuire	13,89	8,1	4,08	10,1
30956	NS GL 1	16,46	2,9	4,53	9,9
13328	Нудум 155 / Nudum 155	16,63	5,3	5,06	16,5
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	18,36	2,3	4,27	14,4
31125	Нудум 95 / Nudum 95	17,80	8,0	5,21	4,9
Среднее по группе / Group average		15,96	6,1	4,39	11,0
НСР₀₅		0,97		0,40	

Примечание: НСР₀₅ – наименьшая существенная разницаNote: НСР₀₅ – the lowest significant difference

Таблица 3. Физические показатели зерна и продуктивность различных образцов ячменя (средние данные за три года)**Table 3. Physical indicators of grain and productivity of various barley accessions (averaged data for three years)**

№ по каталогу ВИР / VIR Catalogue No.	Название образца / Accession name	Вегетационный период, дней / Growing season, days		Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g		Натура зерна, г/л / Test weight, g/l		Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	
		\bar{X}	Cv	\bar{X}	Cv	\bar{X}	Cv	\bar{X}	Cv
Пленчатые образцы / Hulled barley accessions									
30243	Ача (стандарт) / Acha (reference)	76	3,3	45,4	6,3	706	10,3	499	37,8
30984	Биом / Biom	71	5,7	49,2	4,5	694	12,5	438	16,9
-	Танай / Tanay	76	3,1	47,2	11,4	719	11,6	446	31,8
46502	Талан / Talan	75	4,6	45,2	5,9	704	11,3	584	18,1
30245	Соболек / Sobolek	71	6,9	36,4	8,1	632	7,0	437	39,3
27102	Красноярский 80 / Krasnoyarsky 80	77	4,9	50,3	2,3	667	6,7	444	36,2
-	Емеля / Yemelya	74	6,6	36,8	2,0	608	6,6	474	53,7
29622	Маяк / Mayak	75	5,5	51,4	12,5	635	7,4	492	39,6
-	Абалак / Abalak	73	4,1	48,0	7,2	682	14,1	554	31,9
30977	Омский 96 / Omsky 96	74	7,0	49,5	1,0	655	6,2	423	23,1
30719	Тарский 3 / Tarsky 3	68	6,6	33,5	11,1	639	6,3	562	13,6
30845	Золотник / Zolotnik	72	5,0	49,3	4,5	645	7,4	512	35,8
31039	Колчан / Kolchan	70	9,3	40,2	9,7	584	8,6	576	41,8
31109	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2	75	4,8	43,0	7,2	679	18,3	578	29,3
-	Салаир / Salair	75	3,1	46,3	5,6	695	10,1	488	27,4
30970	Княжич / Knyazhich	73	4,4	43,9	6,5	696	12,4	386	16,7
30451	Зерноградец 770 / Zernogradets 770	79	4,4	44,6	4,2	673	7,9	453	43,4
30599	АС Albright	72	11,6	34,2	9,7	663	4,6	528	40,2
	Среднее по группе / Group average	74		44,1		665		494	
	HCP ₀₅	4		3,6		54		47	
Голозерные образцы / Naked barley accessions									
30919	Омский голозерный 1 (стандарт) / Omsky golozerny 1 (reference)	77	2,0	45,2	5,3	846	6,5	413	10,3
27471	Korona Laschego	78	6,0	34,0	13,6	731	12,3	312	19,4
30167	CDC Richard	77	5,2	38,4	6,5	736	11,6	370	60,1
31108	CDC McGuire	82	2,8	37,9	3,7	821	1,8	437	71,5
30956	NS GL 1	77	4,7	39,4	5,9	872	10,0	356	8,2
13328	Нудум 155 / Nudum 155	73	1,4	53,4	7,7	773	5,4	260	50,0
29453	Нудум 7566 / Nudum 7566	80	4,3	48,1	6,7	775	4,7	254	72,4
31125	Нудум 95 / Nudum 95	79	4,5	52,3	3,4	790	7,5	276	38,0
	Среднее по группе / Group average	78		43,6		793		335	41,2
	HCP₀₅	5		4,0		111		31	

Примечание: HCP₀₅ - наименьшая существенная разница
 Note: HCP₀₅ - the lowest significant difference

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между физическими, химическими и производственными показателями зерна ячменя (средние данные за три года)**Table 4.** Correlation coefficients between physical, chemical and production parameters in barley accessions (averaged data for three years)

Параметры зерна / Grain parameters	Содержание белка / Protein content	Содержание β -глюканов / β -glucan content	Вегетационный период / Growing season	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	Натура зерна / Test weight	Урожайность / Yield
Содержание белка / Protein content	-					
Содержание β -глюканов / β -glucans content	0,158 0,688	-				
Вегетационный период / Growing season	0,177 -0,153	0,348 -0,441	-			
Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	0,601* 0,773	0,535* 0,861*	0,502 -0,406	-		
Натура зерна / Test weight	0,441 0,160	0,517 0,284	0,448 0,075	0,417 0,073	-	
Урожайность / Yield	-0,463 -0,746	0,040 -0,512	-0,305 0,357	-0,314 -0,602	-0,225 0,452	-

Примечание: числитель – пленчатые образцы, знаменатель – голозерные;

* – значение коэффициента корреляции существенно при $p \leq 0,05$

Note: numerator – hulled accessions; denominator – naked accessions;

* – correlation coefficients are statistically significant at $p \leq 0.05$ **Таблица 5.** Ранжирование образцов ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и другим ценным химическим, физическим и производственным признакам**Table 5.** Ranking of barley accessions according to their β -glucan content and other parameters important for production and breeding practice

Содержание / Content			Вегетационный период / Growing season	Масса 1000 зерен / 1000 grain weight	М - Натура / M - Test weight	М - Урожайность / M - Yield
М* Белка / M Protein	М β -глюканов / M β -glucans	м β -глюканов / m β -glucans				
Нудум 155 / Nudum 155	Нудум 155 / Nudum 155	АС Albright	Колчан / Kolchan	Нудум 155 / Nudum 155	NS GL 1	Талан / Talan
Нудум 7566 / Nudum 7566		Маяк / Mayak		Маяк / Mayak	Омский голозерный 1 / Omsky golozerny 1	Ворсинский 2 / Vorsinsky 2
Нудум 95 / Nudum 95	Нудум 95 / Nudum 95	Тарский 3 / Tarsky 3	Тарский 3 / Tarsky 3	Нудум 95 / Nudum 95		Тарский 3 / Tarsky 3

Примечание: *М – максимальное значение, м – минимальное значение показателя

Note: *M – maximum; m – minimum

мовые достоинства при кормлении сельскохозяйственных животных.

Результаты анализа корреляционных связей между содержанием ценных химических веществ в зерне ячменя в разные годы его выращивания приведены в таблице 6. Видно, что для пленчатых образцов характерна высокая величина коэффициента корреляции между содержанием β -глюканов, а также среднее его значение между содержанием белка в зерне по годам выращивания. При этом для голозерных сортов установлена существенная связь как между содержанием β -глюканов, так и содержанием белка в зерне практически во все годы выращивания ячменя.

Таблица 6. Значения коэффициентов корреляции между содержанием белка или β -глюканов в зерне образцов ячменя, выращенных в разные годы

Table 6. Correlation coefficients between protein or β -glucan contents in barley accessions grown in different years

Показатель / Grain parameters	Коэффициенты корреляции по годам / Correlation coefficients of accessions by years		
	2016 и 2017 / 2016 vs. 2017	2017 и 2018 / 2017 vs. 2018	2016 и 2018 / 2016 vs. 2018
Содержание белка / Protein content	0,391 0,918*	0,724 0,889*	0,226 0,969*
Содержание β -глюканов / β -glucan content	0,621* 0,737	0,839* 0,898*	0,700* 0,799*

Примечание: числитель – пленчатые образцы, знаменатель – голозерные;

* – значение коэффициента корреляции существенно при $p \leq 0,05$

Note: numerator – hulled accessions; denominator – naked accessions;

* – correlation coefficients are statistically significant at $p \leq 0.05$

Обсуждение

В работе отмечен широкий спектр генотипической изменчивости по содержанию β -глюканов в зерне изучаемых образцов ячменя (от 3,18 до 5,21%), выращиваемых в условиях Восточной Сибири в течение трех лет. Выявлено несущественное преимущество по данному химическому показателю голозерных образцов перед пленчатыми в среднем по группе на 10,7%. По минимальному значению рассматриваемого качественного показателя нами выделены сорта сибирской селекции – ‘Маяк’ (Красноярский край), ‘Тарский 3’ (Омская обл.), и сорт ‘AC Albright’ (Канада), по максимальному – голозерные образцы Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.). Согласно литературным данным (Navrlentová et al., 2008), обнаружено более высокое содержание β -глюканов в зерне также и у голозерных форм овса.

В наших опытах было установлено, что содержание белка в зерне ячменя в среднем на 12,6% ниже у пленчатых форм по сравнению с голозерными ячменями, что согласуется с данными по овсу, полученными ранее другими авторами (Biel et al., 2009). Наибольшая концентрация белка была выявлена у голозерных образцов Нудум 155 (Украина), Нудум 7566 (Киргизия) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.). При этом одновременно высоким содержанием β -глюканов и белка в зерне характеризовались образцы Нудум 155 (Украина) и ‘Нудум 95’ (Челябинская обл.).

Создание скороспелых сортов зерновых культур является одной из главных проблем отечественного растениеводства. Это особенно актуально для условий Восточной Сибири с ее коротким вегетационным пери-

одом. Тем более что скороспелые сорта характеризуются более интенсивным уровнем накопления белка. Скороспелость сортов в сочетании с их адаптивными свойствами постоянно находится в центре внимания сибирских селекционеров (Surin, 2011, Surin et al., 2018). По итогам проведенных исследований нами выделены образцы, сочетающие в себе скороспелость и повышенную урожайность – ‘Тарский 3’ (Омская обл.), ‘Колчан’, ‘Золотник’ (Алтайский край.), ‘Абалак’ (Красноярский край., Тюменская обл.), ‘AC Albright’ (Канада).

По максимальному значению признака «масса 1000 зерен» среди пленчатых форм выделился сорт ‘Маяк’, а среди голозерных образцов – Нудум 155 и ‘Нудум 95’.

В работе была установлена существенная положительная связь между содержанием β -глюканов и массой 1000 зерен как у голозерных, так и пленчатых форм ячменя. Выявленная закономерность может служить косвенным показателем первичного скрининга образцов ячменя на различное содержание β -глюканов в зерне без использования дорогостоящего лабораторного оборудования и химических реактивов. В поддержку этого эффекта следует отметить недавно продемонстрированную в литературе существенную положительную связь между содержанием β -глюканов и величиной плотности лишенного пленок зерна овса. Предложен способ оценки генотипов по этому признаку качества зерна (Polonskiy et al., 2020). Вместе с тем некоторые авторы, работая с голозерными формами ячменя, пришли к заключению о неустойчивой корреляции между содержанием β -глюканов и массой 1000 зерен (Yalçin et al., 2007), что, по-видимому, связано с выбором конкретных генотипов и условиями выращивания растений.

В работе была зарегистрирована тесная положительная связь между содержанием β -глюканов в зерне как пленчатых, так и голозерных форм в разные годы выращивания. Такой же эффект отмечен у голозерных образцов ячменя между содержанием белка в зерне. По нашему мнению, это может означать, что при возделывании ячменя в разные годы содержание β -глюканов (для обеих форм) и белка (для голозерных форм) в зерне у образцов изменяется практически синхронно, то есть ранжирование генотипов по уровню рассматриваемых химических соединений в зерне в зависимости от года выращивания практически не нарушается. Найденная высокая

значимая корреляция между содержанием β -глюканов в зерне пленчатых и голозерных образцов ячменя по годам выращивания подтверждает высокую зависимость этого химического показателя от генотипа. Ранее нами были получены аналогичные результаты на пленчатых образцах овса (Polonskiy et al., 2019). Другими авторами также было показано решающее значение генетического фактора в изменении количества β -глюканов в зерне (Rey et al., 2009; Redaelli et al., 2013). Указанный экспериментальный факт свидетельствует о реальной возможности успешного ведения селекции ячменя по данному показателю качества зерна.

В результате выполненного исследования нами не было выявлено существенного преимущества голозерных образцов по сравнению с пленчатыми в содержании β -глюканов в зерне, наблюдалась лишь положительная тенденция, что согласуется с мнением С. Griffey et al. (2010). Следует подчеркнуть, что отдельные голозерные формы имели преимущество по комплексу качественных признаков, одновременно включая повышенное содержание β -глюканов, белка, высокие значения массы 1000 зерен и натуре.

Заключение

Проведенная в условиях Восточной Сибири комплексная оценка по показателям качества зерна и продуктивности позволила выделить перспективный исходный материал ячменя. В селекции на совершенствование сортов фуражного направления рекомендованы образцы с пониженным содержанием β -глюканов в зерне – ‘Маяк’ (к-29622, Красноярский край), ‘Тарский 3’ (к-30719, Омская обл.) и ‘АС Albright’ (к-30599, Канада), в селекции сортов крупяного назначения – с повышенным уровнем β -глюканов – ‘Нудум 95’ (к-31125, Челябинская обл.) и ‘Нудум 155’ (к-13328, Украина).

Работа выполнена по государственному заданию согласно тематическому плану ФИЦ КНЦ СО РАН, тема № 0356-2019-0042 «Создание для различных почвенно-климатических зон Красноярского края новых стрессоустойчивых сортов (яровой пшеницы, ячменя, овса, озимой ржи, гороха, плодовых и ягодных культур) и разработка технологий первичного и промышленного семеноводства новых сортов зерновых культур».

The work was carried out under the State Task according to the theme plan of Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch of the RAS, theme No. 0356-2019-0042 "Development of new stress-resistant cultivars for different soil and climate zones of Krasnoyarsk Territory (spring wheat, barley, oats, winter rye, peas, fruit and berry crops) and development of technologies for primary and industrial seed production of new cereal crop cultivars".

References / Литература

- Bedford M.R., Classen H.L., Campbell G.L. The effect of pelleting, salt, and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broilers feed rye. *Poultry Science*. 1991;70(7):1571-1577. DOI: 10.3382/ps.0701571
- Behall K.M., Scholfield D.J., Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;80(5):1185-1193. DOI: 10.1093/ajcn/80.5.1185
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*. 2009;49(3):413-418. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.01.009
- Bozbulut R., Sanlier N. Promising effects of β -glucans on glycaemic control in diabetes. *Trends in Food Science and Technology*. 2019;83(1):159-166. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.11.018
- Creissen H.E., Jorgensen T.H., Brown J.K.M. Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Protection*. 2016;85:1-8. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.03.001
- Garkavy P.F., Pylneva P.N. Amino acid composition of grain in common and high-lysine forms of barley (Aminokislотноy sostav zerna obychnykh i vysokolizinyovykh form yachmenya). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1980;7:71-73. [in Russian] (Гаркавый П.Ф., Пыльнева П.Н. Аминокислотный состав зерна обычных и высоколизинных форм ячменя. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1980;7:71-73).
- Gerasimov S.A., Polonskiy V.I., Sumina A.V., Surin N.A., Lipshin A.G., Zute S.A. The influence of genotype and cultivation conditions of oats in the contents of biologically active components in grain. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;2:65-71. [in Russian] (Герасимов С.А., Полонский В.И., Сумина А.В., Сурин Н.А., Липшин А.Г., Зюте С.А. Влияние генотипа и условий выращивания овса на содержание биологически активных компонентов в зерне. *Химия растительного сырья*. 2020;2:65-71). DOI: 10.14258/jcprm.2020025515
- Griffey C., Brooks W., Kurantz M., Thomason W., Taylor F., Obert D. et al. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production. *Journal of Cereal Science*. 2010;51(1):41-49. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.09.004
- Hang A., Obert D., Gironella A.I.N., Burton C.S. Barley amylase and β -glucan: their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors. *Crop Science*. 2007;47(4):1754-1760. DOI: 10.2135/cropsci2006.06.0429
- Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: M.J. Sadler (ed.). *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. 1st ed. Cambridge: Woodhead Publishing; 2014. p.25-45. DOI: 10.1533/9780857098481.2.25
- Havrlentová M., Bieliková M., Mendel L., Kraic J., Hozlár P. The correlation of (1-3)(1-4)-beta-d-glucan with some qualitative parameters in oat grain. *Polnohospodárstvo = Agriculture*. 2008;54(2):65-71.
- Kondratenko E.P., Konstantinova O.B., Soboleva O.M., Izmulkina E.A., Verbitskaya N.V., Sukhikh A.S. The content of protein and amino acids in grain of winter crops growing on the territory of forest-steppe South-East of Western Siberia. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2015;3:143-150. [in Russian] (Кондратенко Е.П., Константинова О.Б., Соболева О.М., Измулкина Е.А., Вербицкая Н.В., Сухих А.С. Содержание белка и аминокислот в зерне озимых культур, произрастающих на территории лесостепи Юго-Востока Западной Сибири. *Химия растительного сырья*. 2015;3:143-150). DOI: 10.14258/jcprm.201503754
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of bar-

- ley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektzii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Loskutov I.G. Polonskiy V.I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(4):646-657. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(4):646-657). DOI: 10.15389/agrobio-logy.2017.4.646rus
- Martínez M., Motilva M.J., López de Las Hazas M.C., Romero M-P, Vaculova K., Ludwig I.A. Phytochemical composition and β -glucan content of barley genotypes from two different geographic origins for human health food production. *Food Chemistry*. 2018;245(4):61-70. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.09.026
- Munck L. The revolutionary aspect of exploratory chemometric technology. Gylling, Denmark: Narayana Press; 2005.
- Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Evaluation of oat genotypes for the content of β -glucans in grain on the basis of its physical characteristics. *Agricultural Biology*. 2020;55(1):45-52. DOI: 10.15389/agrobio-logy.2020.1.45eng
- Polonskiy V.I., Sumina A.V. β -glucans content as a perspective trait in the barley breeding for foodstuff use (review). *Agricultural Biology*. 2013;5:30-43.
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53-60. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6): 53-60). DOI 10.18699/VJ19.541
- Redaelli R., Del Frate V., Bellato S., Terracciano G., Ciccoritti R., Germeier C.U. et al. Genetic and environmental variability in total and soluble β -glucan in European oat genotypes. *Journal of Cereal Science*. 2013;57(2):193-199. DOI: 10.1016/j.jcs.2012.09.003
- Rey J.I., Hayes P.M., Petrie S.E., Corey A., Flowers M., Ohm J.B. et al. Production of dryland barley for human food: quality and agronomic performance. *Crop Science*. 2009;49(1):347-355. DOI: 10.2135/cropsci2008.03.0184
- Sagnelli D., Chessa S., Mandalari G., Di Martino M., Sornedech W., Mamone G. et al. Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*. 2018;40:408-416. DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.028
- Shivus B., Gullord M. Effect of chemical content and physical characteristics on nutritional value of wheat, barley and oats for poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 2002;102(1-4):71-92. DOI: 10.1016/s0377-8401(02)00254-7
- Surin N.A. Adaptive potential of grain varieties of Siberian breeding and ways of its improvement (wheat, barley, oats): a monograph (Adaptivnyy potentsial sortov zernovykh kultur sibirskoy selektsii i puti yego sovershenstvovaniya [pshenitsa, yachmen, oves]: monografiya). Novosibirsk; 2011. [in Russian] (Сурин Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес): монография. Новосибирск; 2011).
- Surin N.A., Lyakhova N.E., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. Evaluation of collection samples of spring barley in the breeding on productivity and quality of grain under conditions of Eastern Siberia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(5):41-44. [in Russian] (Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Оценка коллекционных образцов ярового ячменя при селекции на продуктивность и качество зерна в условиях Восточной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(5):41-44). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10510
- Svirikova S.V., Zaushintsena A.V., Startsev A.A. Oat immunity is a factor in protecting plants from diseases: a monograph (Immunitet ovsa – faktor zashchity rasteniy ot bolezney: monografiya). Kemerovo; 2016. [in Russian] (Свиркова С.В., Заушинцева А.В., Старцев А.А. Иммуниет овса – фактор защиты растений от болезней: монография. Кемерово; 2016).
- Walker C.K., Panozzo J.F. Development of a small scale method to determine volume and density of individual barley kernels, and the relationship between grain density and endosperm hardness. *Journal of Cereal Science*. 2011;54(3):311-316. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.06.008
- Yalçin E., Çelik S., Akar T., Sayim I., Köksel H. Effects of genotype and environment on β -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*. 2007;101(1):171-176. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.01.010
- Zhu F., Du B., Xu B. A critical review on production and industrial applications of beta-glucans. *Food Hydrocolloids*. 2016;52(2):275-288. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.07.003

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.А. Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S.A. Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):48-58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-48-58>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Polonskiy V.I. <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

Surin N.A. <https://orcid.org/0000-0003-3866-6679>

Gerasimov S.A. <https://orcid.org/0000-0003-1273-3212>

Lipshin A.G. <https://orcid.org/0000-0003-0536-3452>

Sumina A.V. <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

Zute S.A. <https://orcid.org/0000-0001-5523-1111>