

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73.

УДК 631.474

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗЕМЕЛЬ РОССИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ХМЕЛЯ)

**© 2014 г. А. Л. Иванов¹, И. Ю. Савин^{1,3},
А. В. Егоров²**

*¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,
119017, Москва, Пыжневский пер., 7, стр. 2*

²РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550, Москва, Тимирязевская ул., 49

*³Аграрный факультет РУДН, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,
корп. 25А*

Для развития прикладных аспектов Единого государственного регистра почвенных ресурсов России применялась оригинальная методология анализа пригодности земель с использованием ГИС базы данных с пространственным разрешением 2500 га. Оценочные модели строились в методологии оценки земель ФАО. Объектом анализа служила культура хмеля, отличающаяся специфичными избирательными агроэкологическими требованиями. Показана высокая прикладная адекватность применяемой методологии. Установлено, что земли, оптимальные по всем параметрам для возделывания хмеля, занимают в России около 0,01% территории. Наибольшие ограничения связаны с почвенными и климатическими условиями. Наименьшие затраты для возделывания хмеля необходимы на территории европейской части России, юге Западной Сибири и на равнинных формах рельефа на Дальнем Востоке. Наибольшие вложения потребуются при возделывании хмеля в горных районах Урала, Алтая, в горах Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: оценка почв, хмель, ресурсный потенциал земель России.

Для российского агропромышленного производства с разбалансированным экономическим укладом, гипертрофированным доминированием крупных агрохолдингов и сдерживанием средних и мелких (фермерских, крестьянских, личных) формирований, оптимизация структуры землепользования является необходимой

задачей, решение которой должно базироваться на научно-обоснованной оценке природных (почвенных) ресурсов страны и потенциала биоразнообразия.

Хмелеводство, традиционный российский промысел, переживает не лучшие времена. Экспансия крупнотоварного ячменного пивоварения, заимствование зарубежных технологий, вытесняет хмель из этого процесса и приводит к сокращению площадей под этой культурой. Между тем, кроме исключительных возможностей в пивоварении, хмель обладает незаменимыми фармакологическими свойствами. Расширению распространения хмеля в производственных масштабах может способствовать развитие и сбалансированность многоукладности в отечественном агропромышленном комплексе. Производство хмеля при поддержке государства и оптимальной конъюнктуре рынка могут развивать мелкие и средние сельскохозяйственные формирования.

В условиях рыночной экономики актуальна задача размещения культуры хмеля с максимально полным соответствием качеству земельных ресурсов, так как это позволяет увеличить качество и количество урожая и повысить экономическую эффективность хмелеводства. В настоящее время хмель возделывают с недостаточным учетом его экологических требований. Это привело к тому, что многие хмельники расположены на ограниченно пригодных почвах, в то время как территории, оптимальные для хмеля, заняты другими культурами.

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (Иванов и др., 2013) базируется на геоинформационной почвенно-географической базе данных и является научной основой для многоцелевого анализа почвенных и земельных ресурсов страны.

ОБЪЕКТ

Возделываемый в производстве хмель относится к виду хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.) – многолетнее растение, ботанически родственное конопле, из семейства Cannabineae (Коноплевые), порядка Urticaceae (Крапивоцветных). Это многолетняя двудомная выющаяся лиана с однолетними (монокарпическими) побегами. Многолетняя (функционирующая в течение 20 лет и более) у хмеля только подземная часть растения. Надземные орга-

ны (вегетативные и генеративные) ежегодно весной отрастают из почек возобновления, за вегетацию проходят весь цикл, а на зиму отмирают.

Н.И. Вавилов относит хмель к средиземноморскому очагу происхождения культурных растений. Ареал дикого хмеля простирается далеко на север, где он, вероятно, и был введен в культуру. В. Линке считает родиной хмеля северную и среднюю Европу. По мнению Л. Вента, первичная геоботаническая область распространения хмеля, по всей вероятности, – плодородные долины и предгорья Кавказа, а также побережье Черного моря. Отсюда хмель при переселении славян во II–V вв. н.э. распространился по территории средней Европы (Александров и др., 1991).

Подземная часть хмеля включает корни и главное корневище с подземными побегами. Корень у хмеля весьма глубоко проникает в землю (до 4 м, а основная масса корней до 1 м) и дает массу второстепенных корней.

По характеру размещения в почве корни хмеля подразделяются на горизонтальные, наклонные и вертикальные. Горизонтальные корни расположены почти параллельно поверхности почвы (отклонение до 20°). Глубина залегания горизонтальных корней зависит от места их формирования, типа почвы, способа закладки хмельника, сорта, возраста растений и др. Наклонные корни растут под углом к горизонту 20°–60°. Они проникают в более глубокие почвенные слои, охватывают больший объем почвы и обеспечивают растение водой и элементами питания. Вертикальные корни расположены в почвогрунте отвесно (отклонение от горизонта более 60°). Они могут быть любого происхождения и возраста, придают растениям механическую устойчивость, поглощают питательные элементы из нижних слоев почвы.

Надземные вегетативные органы хмеля состоят из стебля, ветвей и листьев. Стебель – однолетняя выходящая лиана, толщиной 8–15 мм. В сечении стебель имеет шестигранную форму, по краям расположены крючкообразные шипы, которыми он цепляется за поверхность поддержек. Витье стебля происходит по ходу часовой стрелки (по движению солнца) за счет движения трех верхних междоузлий. Диаметр круга, описываемого верхушкой стебля, достигает 50 см. Ребристые молодые побеги сплошь заполнены сердцевинной, по мере их роста образуется полость с ко-

ленчатостью по узлам. Длина стебля зависит от сроков созревания растений хмеля и изменяется от 3 м у ультраскороспелых до 12 м у очень позднеспелых (Виноградов, 1977; Догилевич, Кардашев, 1990).

Стебель хмеля выполняет проводящую (передвижение питательных веществ во все органы) и механическую (обеспечивает устойчивое положение в пространстве, выносит листья к свету, выдерживает значительные механические нагрузки от веток с шишками) функции.

Листья у хмеля простые черешковые с небольшими прилистниками у основания. Поверхность листовой пластинки пальчато-раздельная, а на ветвях – трехдольная и цельная. По стеблю листья размещаются неодинаково: в нижней части – крупные трех-, пятидольные, в средней – наиболее крупные пяти-, реже семидольные, в верхней – трехдольные или цельные. Края листовой пластинки неровнопильчатые, зазубренные, жилкование листьев сетчатое. Основные грани на нижней стороне листа имеют шипы. Вся поверхность листовой пластинки, особенно верхняя, покрыта жесткими волосками.

К генеративным органам хмеля относятся цветок, плод (семя). На женских растениях цветки собраны в соцветия, которые по мере развития превращаются в соплодия (шишки), а на мужских – в метелки. По внешнему виду женские и мужские растения не различаются между собой до наступления фазы бутонизации. Двудомность растений хмеля обуславливает перекрестное опыление цветков. Хмель – ветроопыляемое растение, что отразилось на развитии генеративных органов: цветки мелкие, не имеют яркой окраски и аромата, собраны в соцветия.

После цветения все составные части женского соцветия сильно разрастаются и превращаются в шишку хмеля. Продолжительность формирования шишек зависит от сорта, агротехники и климатических условий и составляет 15–30 дней. При оплодотворении женских цветков в шишках образуются семена.

Культура хмеля в России ведется с целью получения бессемянных шишек.

Ботаническая зона произрастания дикого европейского подвида хмеля обыкновенного в России приурочена к умеренной зоне. Северная граница ареала дикого хмеля проходит через юж-

ные районы Карелии, бассейны Северной Двины и Вычегды (66–60° с.ш.). В районе Коми она резко опускается ниже 60° с.ш. и уходит к Уралу. В Западной Сибири хмель распространен южнее 58–59° с.ш. Восточнее Западного Заангарья (95° в.д.) его граница поворачивает на запад и проходит по районам предгорных Саян до Алтая. На всем протяжении северная граница распространения хмеля пролегает несколько ниже границы вечной мерзлоты, копируя ее. В зоне островного распространения мерзлых толщ существуют талые участки, где встречаются заросли дикого или заносного хмеля.

Южная граница ареала дикого хмеля проходит вдоль границы России, за исключением зоны, прилегающей к Каспийскому морю, где она тянется от берега Каспийского моря, севернее г. Кизляр, вдоль полупустынных районов Ставрополя и Калмыкии до г. Камышин на Волге, затем р. Урал и через южную Башкирию выходит к Уральскому хребту. На Дальнем Востоке хмель был раньше известен только в культуре. В настоящее время встречаются отдельные местонахождения одичавшего и заносного хмеля на юге Приморья и в среднем течении Амура. Здесь южная граница распространения мерзлых толщ тянется вдоль левого берега низовья р. Амур.

В зону, где дикорастущий хмель не распространен, входят Астраханская, Иркутская, Магаданская, Мурманская, Читинская области; Коми-Пермяцкий, Корякский, Ненецкий, Таймырский, Ханты-Мансийский, Чукотский, Эвенский автономные округа, республики Бурятия, Калмыкия, Коми, Саха-Якутия, Тува (Сластенников, 1971; Либацкий, 1993).

Зона товарного хмелеводства теоретически должна иметь несколько суженные природно-климатические параметры по сравнению с зоной ботанического произрастания дикого хмеля, так как предполагает организацию производства сырья с высокой рентабельностью.

В настоящее время товарное хмелеводство сосредоточено в 11 административных регионах страны: Белгородской, Брянской, Воронежской, Вятской, Курской, Московской, Пензенской областях, Алтайском крае, республиках Горный Алтай, Марий Эл и Чувашии. Из них только три последних региона являются хмеле-

вывозящими, остальные обеспечивают лишь потребности местных предприятий.

В различные исторические периоды товарное производство хмеля осуществлялось на территориях Владимирской, Ивановской, Костромской, Орловской, Рязанской, Смоленской, Тульской, Ульяновской (Симбирской), Екатеринбургской (юг) областей, Краснодарского и Ставропольского краев, республик Башкирия, Татария, Чечено-Ингушетия (Александров и др., 1991).

МЕТОД

В качестве основы для оценки пригодности земель использовалась Почвенно-географическая база данных России (2014), а также данные о рельефе и климате, входящие в базу данных “Земельные ресурсы России” (Savin, 2002; Stolbovoi, McCallum, 2002). Данные были предварительно приведены к единому пространственному разрешению с размером пикселя 5×5 км (2500 га на местности). Этот размер оптимален с точки зрения масштаба исходных карт, которые были положены в основу указанных выше первоисточников. Таким образом, элементарная площадная единица анализа составляла 2500 га.

В качестве методологической основы для оценки пригодности земель использовались подходы, основанные на идеологии оценки земель ФАО, базирующиеся на геоинформационных технологиях (Савин, 2004). Эти подходы прошли апробацию для культур в различных регионах страны и показали их достаточную надежность (Савин, Федорова, 2000; Драгавцева и др., 2005, 2007; Нефтялиев и др., 2010; Савин и др., 2013). В отличие от современных отечественных подходов (Карманов и др., 2013), использованные подходы больше основаны на анализе экологических особенностей оцениваемой культуры, а не на статистических данных об ее урожайности.

На первом этапе построения оценочных моделей провели анализ и отбор свойств земель, которые потенциально могут оказывать влияние на рост хмеля в пределах территории Российской Федерации. Отбор свойств осуществляли в рамках трех основных блоков: почвенного, климатического и рельефного. Все отобранные свойства классифицировали по степени их оптимальности для роста культуры. В общем виде использовали следующую шкалу

частных оценок отдельных свойств земель: оптимальное, ограниченно пригодное и непригодное.

В класс “оптимальных” (первый класс пригодности) свойство попадало в том случае, если оно не лимитирует рост и развитие растения. К “ограниченно пригодным” (второй класс пригодности) относились свойства, которые ограничивают развитие растения, но после улучшения могут достигать оптимальных параметров. “Непригодные” свойства (третий класс пригодности) лимитируют возможность возделывания культур до такой степени, что их рост практически не возможен. Лишь после проведения комплексных мелиоративных работ, эти земли могут перейти в класс “ограниченно пригодных”.

Кроме этого, были введены подклассы **a**, **b** и **c**. В подкласс **a** входили территории, на которых лимитирующие факторы могли быть оптимизированы с помощью агротехнических приемов (например, известкование). В подкласс **b** входили территории, улучшение которых связано с проведением коренных мелиоративных работ (осушение, орошение, террасирование). К подклассу **c** были отнесены территории, на которых оптимизировать лимитирующий фактор невозможно (недостаток тепла, солнечной радиации), или же его улучшение связано с большими экологическими рисками (сильная эрозия на склонах с крутизной более 15°), или с неоправданными экономическими затратами (высокая степень каменистости).

Хмель очень требователен к почвам. Для нормального роста и развития растения почва должна обладать хорошими физическими свойствами: достаточной влагоемкостью, благоприятными тепловым и воздушным режимами. Такие свойства присущи рыхлым почвам. На уплотненных почвах растения испытывают недостаток воды и воздуха. Уплотнение горизонтов почвы и подпочвы может быть очень сильным (1,5–1,6 г/см³), и корневая система хмеля не в состоянии проникнуть в них и развиваться. Активный слой почвы для растений хмеля находится на глубине до 1 м. Значительное число корней проникает на глубину до 2 м, поэтому для оценки пригодности почвы под хмель необходимо учитывать свойства подпочвы. Для хмеля наиболее подходят слабоуплотненные подпочвы.

На характер роста и развития корневой системы хмелевого растения оказывают влияние гидротермический режим, аэрация, сложение, состав и структура почвы. Например, в степных районах корни растений хмеля могут доставать воду с большой глубины, в то же время они имеют развитую горизонтальную корневую систему в гумусовом горизонте почвы, откуда растения поглощают элементы минерального питания.

Гранулометрический состав почвы оказывает существенное влияние на рост и развитие хмеля. Величина продуктивности растений зависит от гранулометрического и химического состава почвы. Наиболее благоприятное сочетание содержания песка, глины и гумуса обычно наблюдается в среднесуглинистой почве. На песчаных и глинистых почвах урожайность хмеля снижается.

Химизм почвенного раствора является для растений хмеля экологическим фактором первостепенной важности. Хмель относится к нейтрофильным растениям. Он может нормально развиваться на почвах со слабокислой реакцией среды, насыщенных основаниями. Возделываемые сорта лучше развиваются при pH 5,6–6,0 и гидролитической кислотности 1,5–2,0 мг-экв/100 г почвы. Такие условия имеются на очень малых площадях возделывания хмеля на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Эти почвы характеризуются высокой кислотностью, а отсюда и характерные плохие физико-химические свойства: увеличенные количества подвижного алюминия, марганца и железа, которые при повышенной концентрации ядовиты. Растения хмеля плохо переносят кислую и щелочную реакцию. В этих условиях в ранние периоды роста растений на листьях появляется хлоротичность, которая с возрастом постепенно исчезает. Излишняя кислотность ухудшает питание растений кальцием, так как водородные ионы не только задерживают поступление кальция и других катионов в растение, но и вытесняют кальций и катионы с поверхности корней, что влияет на биохимические процессы в растениях и на использование ими питательных веществ.

Хмель очень требователен к режиму питания. Он относится к нитрофилам, предъявляющим повышенные требования к азоту в почве. В течение вегетационного периода растения хмеля потребляют в 2–4 раза больше азота, фосфора, калия и кальция, чем зерновые культуры. Хозяйственный вынос хмелем элементов пита-

ния на 1 т основной продукции составляет: N – 84 кг, P – 35 кг, K – 92 кг. На образование 1 т шишек хмель выносит из почвы: N – 70–100 кг, P – 40–60 кг, K – 110–135 кг и Ca – 80–120 кг. Особые требования хмеля к почвенно-грунтовым условиям определяются продолжительным произрастанием его в монокультуре и проникновением корневой системы растений в глубокие горизонты.

Под хмель пригодны незаболоченные и незасоленные почвы, которые подстилаются неплотными породами с уровнем грунтовых вод ниже 2,0–2,5 м и глубоким залеганием карбонатных горизонтов. Корневая система хмеля, достигнув близких водоносных непроницаемых слоев, попадает в условия плохой аэрации и отмирает. Надземная часть растений в этих условиях получает значительное количество воды, что затягивает рост и развитие.

Хмель хорошо растет и развивается на почвах, которые в летние месяцы достаточно прогреты. На почвах плотных, сырых, холодных растения легко повреждаются болезнями. В то же время хмель требует много влаги, поэтому на сухих почвах он часто нуждается в орошении (Практикум..., 1989; Долгилевич, Кардашев, 1990).

Для оценки пригодности свойств почвенного блока анализировались такие свойства почв, как pH, уровень грунтовых вод, содержание карбонатов и гипса, гранулометрический состав, каменистость, плотность, мощность почвенного профиля, периодическая затопляемость. По каждому свойству разработана шкала оценки пригодности.

Гранулометрический состав играет важную роль в формировании физико-химических свойств почвы, а, следовательно, имеет большое влияние на процессы роста растений. Для хмеля оптимальными являются легко- и среднесуглинистые почвы, поэтому они были отнесены к первому классу пригодности. Почвы супесчаные и тяжелосуглинистые ограничивают развитие растений, поэтому они отнесены ко второму классу. На песчаных и глинистых почвах хмель не растет из-за неблагоприятных физико-химических свойств. Такие почвы были отнесены к третьему классу пригодности.

Каменистость почв является сильно ограничивающим фактором для хмеля. Оптимальными можно считать почвы, каменистость которых не превышает 1%. Если каменистость не превы-

шает 3% и имеет щебенчато-галечниковую природу, то такие почвы отнесены ко второму классу пригодности. Почвы с каменистостью более 3%, или если они имеют валунную природу, были отнесены к третьему классу пригодности.

Хмель чувствителен к *плотности почвы*. К первому классу пригодности отнесены почвы с плотностью 1,1–1,3 г/см². Ко второму классу – более легкие и более тяжелые с плотностью 0,9–1,1 и 1,3–1,5 г/см² соответственно. В третий, непригодный, класс попали почвы с плотностью менее 0,9 г/см² и более 1,5 г/см².

Из-за большой глубины проникновения корневой системы хмель требователен к *мощности мелкоземистой толици*. На почвах с небольшим профилем корневая система не в состоянии полностью развиться и обеспечить растение необходимым количеством элементов минерального питания. К непригодным отнесены почвы с мощностью почвенного профиля менее 100 см, к ограниченно пригодным – с мощностью 100–150 см. К оптимальным почвы отнесены, если их профиль превышает 150 см.

Хмель лучше растет на возвышенных ровных местах, и низкие *периодически затопляемые территории* для него не подходят. Территории, подверженные редким затоплениям (один раз в десять лет и более), например высокие поймы, отнесены ко второму классу пригодности. В третий класс попали почвы, подверженные систематическому затоплению, а также болотистые почвы.

Отнесение почвы к какому-либо классу пригодности по почвенным свойствам в целом осуществлялось на основе анализа результатов оценки оптимальности отдельных свойств, а также возможности и относительной затратности улучшения неоптимальных значений. Решающим правилом для оценки почвы использовался метод “максимальной лимитации”, т.е. класс пригодности почвы не мог быть выше класса “худшего” свойства. Таким образом, все почвы Российской Федерации были разбиты на классы:

класс 1 – почвы, оптимальные для хмеля по всем оцениваемым параметрам;

класс 2a – почвы со свойствами, ограничивающими развитие растений хмеля, но которые возможно оптимизировать приемами агротехники до оптимальных значений;

класс 2b – почвы со свойствами, ограничивающими развитие растений хмеля, но которые возможно оптимизировать мелио-

ративными приемами до оптимальных значений (снижение уровня грунтовых вод, уменьшение содержания карбонатов и гипса);

класс 2с – почвы со свойствами, ограничивающими развитие растений хмеля, но которые нельзя изменить или изменение которых связано с неоправданно большими затратами (гранулометрический состав, каменистость, плотность, мощность почвенного профиля, периодическая затопляемость почвы);

В отличие от класса 2, в класс 3 вошли почвы, в большей степени лимитирующие рост и развитие растений. Улучшение лимитирующих факторов возможно только до ограниченно пригодных значений.

класс 3а – почвы со свойствами, непригодными для выращивания хмеля, но методами агротехники их можно улучшить до ограниченно пригодных значений;

класс 3б – почвы со свойствами, непригодными для выращивания хмеля, но их улучшение связано с применением комплексной мелиорации (снижение уровня грунтовых вод, уменьшение содержания карбонатов и гипса);

класс 3с – почвы со свойствами непригодными для выращивания хмеля. Улучшить эти свойства нельзя, или их улучшение связано с неоправданно большими затратами (гранулометрический состав, каменистость, плотность, мощность почвенного профиля, периодическая затопляемость почвы).

Отдельно выделялся оценочный класс х. В этот класс отнесены почвенно-географические выделы с сильно комплексным почвенным покровом, где отдельные почвы имели различные оценки пригодности.

Далее оценивалась пригодность земель по климатическим условиям.

Хмель – светолюбивая культура. За вегетационный период растению необходимо 1500–1700 ч солнечной радиации, при этом более половины ее должно приходиться на период от цветения до технической спелости шишек. При хорошей освещенности увеличивается облиственность растений, происходит равномерное цветение, образуется большое количество шишек, и они лучше сформированы, особенно в среднем и нижнем ярусах. Равномерность освещения зависит от густоты посадки растений и способа их заводки. Для получения высоких урожаев хмеля на 1 га требуется

иметь 14–18 тыс. продуктивных стеблей. Затенение растений вызывает замедление роста, отмирание бутонов и цветков, шишки образуются рыхлые, легкие, светло-зеленые.

Хмель – растение длиннокороткого дня. Он зацветает только при последовательном пребывании сначала на длинном, а потом на коротком дне. На юге, где дни короче, хмель зацветает раньше, чем в средней полосе. Свет оказывает влияние также на транспирацию листьев, изменение направления и силы роста веток, структуру и габитус кроны, интенсивность цветения и плодоношения. Улучшение освещенности снижает поражаемость растений болезнями и вредителями, увеличивает продолжительность жизни и продуктивность хмеля.

Хмель – культура умеренного климата и произрастает в зонах со среднегодовой температурой воздуха 1,5–8,5°C и суммой активных температур (выше 10°C) 1000–3500°C. В северной зоне хмелеводства (при достаточном количестве влаги) сумма активных температур, необходимая для возделывания раннеспелых сортов, ограничена 1700°C, а в южной зоне – 2500–2900°C, что позволяет возделывать здесь позднеспелые сорта хмеля. Северная граница промышленного хмелеводства приходится на зоны со средней температурой периода вегетации 14,3–15,0°C. Наиболее благоприятна среднесуточная температура воздуха во время вегетации хмеля 15–17°C без резких колебаний ее днем и ночью.

Потребность хмеля в количестве тепла в разные периоды жизни неодинакова. Почки подземных частей прошлогодних стеблей пробуждаются при температуре почвы 3–4°C, рост стеблей начинается при температуре воздуха 5–6°C. При этой же температуре прорастают почки у посаженных стеблевых черенков. При дневной температуре выше 15°C побеги появляются через 10–15 дней после обрезки главных корневищ, при более низкой температуре – через 19–20 дней. Продолжительное похолодание в фазе отрастания побегов–образование ветвей вызывает пожелтение листьев, замедляет рост стеблей и снижает продуктивность растений. Стебли начинают расти при температуре выше 10°C, ветви – при температуре выше 14°C, а наиболее благоприятная температура 17–18°C. В период образования ветвей растению необходимо получить 450–550°C.

Особенно чувствительно к теплу растение в период цветения и формирования шишек. Среднесуточная температура воздуха 15–21°C позволят получить 15–20 ц/га шишек (сорт Брянский). Для формирования шишек наиболее благоприятна среднесуточная температура 14–19°C. Возрастание температуры сокращает период созревания шишек, а снижение – растягивает его.

Эффективное накопление горьких веществ при созревании шишек идет при среднесуточной температуре 14–18°C, а понижение температуры до 9–13°C снижает их накопление.

Температура воздуха выше 40°C приводит к возникновению ожогов в различных частях растений и ухудшению количества и качества урожая.

Хмель – влаголюбивая культура. Высокий урожай его получают в районах с суммой годовых осадков 500–600 мм.

Снижение урожая хмеля наблюдается в годы, когда за вегетационный период выпадает менее 200 мм осадков, при этом до цветения (апрель–июнь) – 80 мм, а после цветения (июль–август) – менее 120 мм.

Существенное влияние на рост и развитие хмеля оказывает количество осадков, приходящихся на отдельные периоды вегетации. Весной запасов влаги в почве обычно бывает достаточно для нормального отрастания побегов, затем потребность растений во влаге возрастает. В периоды цветения и образования шишек хмель требует особенно много влаги, а при созревании шишек избыточные атмосферные осадки нежелательны.

Среднесуточное водопотребление хмеля в Нечерноземной зоне в период отрастания побегов – появления ветвей равно 2,2 мм, появления ветвей – цветения – 3,9 мм, цветения – образования шишек – 4,1 мм, образования шишек–технической спелости – 2,5 мм. Единичные засушливые периоды (продолжительностью 10–15 дней) во время вегетации хмеля существенно снижают урожайность в случае, когда их количество больше трех.

Отрицательное действие избыточного увлажнения на продуктивность хмеля сказывается в годы с низким тепловым балансом.

Качество шишек зависит от влагообеспеченности растений в периоды формирования и созревания соплодий. Так, для получения урожая высокого качества достаточно в мае–июне 120–170 мм

осадков, в июле 80–110 мм. Шишки низкого качества образуются в годы, когда количество осадков за май–июнь составляет менее 80 мм и менее 35 мм – в июле. Наибольшее количество горьких веществ синтезируется в шишках при среднесуточном количестве осадков 1,1 мм (Сластенников, 1971; Годованный, 1990; Александров и др., 1991).

Для оценки климатических условий выделены пять основных факторов, влияющих на возделывание хмеля:

- 1) средняя температура за вегетационный период;
- 2) сумма положительных температур за вегетационный период;
- 3) среднегодовая температура;
- 4) сумма осадков за год;
- 5) сумма осадков за вегетационный период.

Для каждого из этих факторов создана оценочная шкала (табл. 1). По каждому фактору сделана промежуточная карта пригодности. Затем для создания единой карты оценки пригодности земель по климату промежуточные карты “наложили” одна на другую. Каждый полученный контур имел свою оценку по каждому из оцениваемых факторов. Общую оценку контуру присваивали по “худшему” классу, руководствуясь правилом “максимальной лимитации”.

К классу 1 отнесены территории, для которых климатический фактор имел оптимальное значение.

К классу 2 – территории, на которых климатический фактор имел неоптимальное значение и лимитировал рост растений; не-

Таблица 1. Классы пригодности земель по климату

Фактор	Класс пригодности		
	непригодные (3)	ограниченно пригодные (2)	оптимальные (1)
Средняя температура за вегетационный период	< 9	9–14 и > 19	14–19
Сумма положительных температур за вегетационный период	< 1700	1700–2200	>2200
Среднегодовая температура	< –1,5	–1,5–7,0 и > 9,0	7,0–9,0
Сумма осадков за год	< 450	450–500 и > 600	500–600
Сумма осадков за вегетационный период	< 200	200–250 и > 450	250–450

которые из этих факторов можно оптимизировать (например, при недостатке влаги проводить орошение).

К классу 3 – территории, на которых, вследствие сильной лимитации со стороны климатических факторов, выращивание хмеля в промышленных масштабах становилось невозможным.

Рельеф не принадлежит к экологическим факторам прямого действия, оказывая влияние в перераспределении их в пространстве. Пространственные варьирования климатических факторов учитываются при анализе климатических условий.

В процессе оценки земель были выделены следующие классы пригодности земель для возделывания хмеля по рельефу:

класс 1 – территории со склонами 0° – 2° ;

класс 2а – территории со склонами 2° – 8° ;

класс 2b – территории со склонами 8° – 15° ;

класс 3 – территории со склонами более 15° .

На территории класса 1 пригодности характерно отсутствие эрозионных процессов, что позволяет возделывать хмель с минимальными дополнительными затратами.

На территориях класса 2а эрозионные процессы имеют выраженный характер, поэтому на них требуется проведение комплекса противоэрозионных работ.

На территориях класса 2b возделывание хмеля возможно только в случае террасирования.

На территориях класса 3 хмелеводство невозможно. Однако в пределах контура могут быть небольшие участки с более плоскими склонами, пригодные для хмелеводства, но большого промышленного значения они не имеют.

После создания оценочных карт по климату, рельефу и почве, была построена карта интегральной оценки пригодности. Для этого сначала было сделано наложение карт оценки по климату и по рельефу. Все варианты пересечения оценочных классов этих карт были сгруппированы в классы объединенной оценки (табл. 2).

класс 1 – территории с оптимальными характеристиками;

класс 2а – территории, с неоптимальными по рельефу показателями (склоны 2° – 8°), но оптимальными по климату; для улучшения этих территорий, необходимо применять комплекс противоэрозионных мер;

Таблица 2. Классы объединенной оценки пригодности по климату и рельефу

Класс пригодности климата	Класс пригодности рельефа	Класс объединенной оценки
1	1	1
1	2a	2a
1	2b	2b
2	1, 2a, 2b	2c
3	1, 2a, 2b, 3	3

Таблица 3. Классы интегральной оценки

Класс оценки почвы	Объединенный класс оценки климата и рельефа	Итоговый класс интегральной оценки
1	1	1
2a	1, 2a	2a
2b	1, 2a, 2b	2b
2c	1, 2a, 2b, 2c	2c
3a	1, 2a, 2b, 2c	3a
3b	1, 2a, 2b, 2c	3b
3c	1, 2a, 2b, 2c, 3	3c
x	1, 2a, 2b, 2c, 3	x

класс 2b – территории, оптимальные по климату, но неоптимальные по рельефу; склоны здесь варьируют в пределах от 8° до 15°; для их улучшения необходимо проведение террасирования;

класс 2c – почвы неоптимальные по климатическим, а также по рельефным параметрам; на отдельные факторы лимитации можно влиять (при недостатке влаги проводить орошение), на другие (недостаток тепла) это сделать невозможно;

в класс 3 вошли территории, непригодные для возделывания, однако часть из них после проведения агротехнических и мелиоративных работ можно будет перевести во второй класс.

После этого полученная промежуточная карта пересекалась с результатами оценки почв. Все варианты пересечения классов оценки представлены в табл. 3.

В результате экспертной оценки всех вариантов пересечения были получены следующие классы интегральной пригодности:

класс 1 – территории оптимальные по всем параметрам;

класс 2a – территории с небольшими ограничениями, которые требовали проведения агротехнических и противоэрозионных работ;

класс 2b – территории со средней степенью лимитации растений (ограниченно пригодные); для их улучшения необходимы комплексные работы по агротехнике и мелиорации;

класс 2c – территории со средней степенью лимитации (ограниченно пригодные); однако их улучшение невозможно (недостаток тепла);

класс 3a – территории с сильной лимитацией неблагоприятных факторов; с помощью агротехнических методов и противоэрозионной обработки можно улучшить их до уровня класса 2;

класс 3b – территории, на которых возделывание хмеля невозможно, но после проведения мелиоративных работ их можно отнести к классу ограниченно пригодных;

класс 3c – территории абсолютно непригодные для возделывания хмеля; методами агротехники и мелиорации их нельзя улучшить;

класс x – территории с комплексом разных почв; внутри этого класса только часть земель подходит для промышленного хмелеводства.

После проведения оценки пригодности земель была построена карта экологических рисков, которые могут потенциально возникать при использовании земель для возделывания хмеля. В основу создания карты экологических рисков положен следующий принцип: чем благоприятнее факторы окружающей среды, тем меньшее воздействие нужно на них оказывать для их оптимизации, тем меньше экологический риск. И наоборот, чем неблагоприятнее фактор, тем большее воздействие нужно на него оказывать, выводя природную экологическую систему из состояния естественного равновесия, тем больше экологический риск.

При создании карты были учтены почвенные и рельефные факторы, так как при возделывании хмеля человек в первую очередь изменяет их.

Для характеристики экологических рисков были разработаны следующие классы:

0 – территории, на которых экологический риск не выражен;

а – территории, которые подвержены слабому экологическому риску; они характеризуются средней и сильной степенью лимитации растений, но их улучшение связано преимущественно с проведением агротехнических и противозерозивных работ, которые оказывают несильное влияние на окружающую среду.

б – территории со средней и сильной степенью лимитации, для их улучшения проводят комплекс мелиоративных работ, которые в большей степени, чем агротехника, изменяют окружающую природную среду; следовательно, эти земли подвергаются большему экологическому риску, чем предыдущие классы.

с – территории с разной степенью лимитации растений, лимитирующие факторы (преимущественно климатические) не могут быть улучшены, или их оптимизация связана с большими экологическими нагрузками.

Алгоритм присвоения территории класса экологической рискованности основан на правиле максимальной лимитации и показан в табл. 4.

На последнем этапе проводилась оценка потенциальной относительной экономической затратности возделывания хмеля. Она была основана на принципе: чем неоптимальнее фактор, огра-

Таблица 4. Классы экологических рисков при возделывании хмеля

Класс оценки почвы	Класс оценки рельефа	Класс оценки экологического риска
1 + x	1	0
	2a	a
	2b	b
	3c	c
2a + 3a	1	a
	2a	a
	2b	b
	3c	c
2b + 3b	1	b
	2a	b
	2b	b
	3c	c
2c + 3c	1	c
	2a	c
	2b	c
	3c	c

ничающий возделывание культуры, тем больше нужно произвести экономических затрат на его оптимизацию.

Если на территории хмельника несколько лимитирующих факторов, то общие экономические затраты равны сумме затрат на каждый фактор, т.е. применяется правило накопления неоптимальностей.

На основе экспертной оценки каждому классу почвенной, рельефной и климатической пригодности был присвоен свой балл потенциальной относительной экономической затратности (табл. 5).

Общая оценка территории по баллам затратности равнялась сумме баллов оценки классов пригодности по почвам, рельефу и климату.

Максимальное количество баллов – 20, минимальное – 0. Чем выше балл, тем большие экономические затраты нужно сделать для оптимизации территории под возделывание хмеля.

Таблица 5. Оценка классов пригодности в баллах затратности

Класс пригодности	Балл потенциальной относительной экономической затратности
Почвенные классы	
1	0
2a	1
2b	2
2c	3
3a	4
3b	5
3c	6
x	3
Климатические классы	
1	0
2	3
3	7
Рельефные классы	
1	0
2a	1
2b	2
3	7

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного анализа построены карты пригодности земель России для возделывания хмеля по почвам, климату и рельефу, а также интегральная карта оценки пригодности, карты оценки экологических рисков и оценки потенциальной относительной экономической затратности возделывания хмеля (рис. 1–6).

Оценка почвенных условий показала, что оптимальными (класс 1) для промышленного возделывания хмеля являются небольшие участки в Калининградской области, Центрально-Европейской части России и на Камчатке. Суммарно они занимают около 0,88% территории страны.

Ко второму классу (2a) ограниченно пригодных земель относятся небольшие участки, расположенные рядом с оптимальными почвами. Их общая площадь составляет 0,29% или 4,94 млн га. Земли класса пригодности 2b занимают очень незначительные площади, и суммарно менее 0,01% территории страны.

Территории класса 2c занимают 7,47% площади страны. Они расположены небольшими контурами практически на всей европейской части России, на Урале, в южной части Сибири, на Алтае, в Якутии, Приморском крае и на Камчатке.

Территории класса пригодности 3a и 3b расположены небольшими контурами на севере европейской части России, предгорьях Кавказа, на Алтае, юге Сибири, в Якутии и на Камчатке. Они занимают 0,50 и 1,30% соответственно.

Территории класса пригодности 3c распространены на 88,79% территории России. Это почти весь север страны, Урал, Сибирь, Чукотка, большая часть Дальнего Востока. На юге – предгорья Кавказа и вся зона степей. Небольшими контурами абсолютно непригодные земли расположены на всей европейской части.

Контуры почв с комплексной оценкой (класса x) занимают 0,67% территории страны.

Земли с оптимальным для возделывания хмеля климатом (класс 1) занимают 2,02% территории страны. К ним относятся: Калининградская область на западе, Курская и Воронежская области на юге, Алтайский край на юго-востоке и небольшие участки в Хабаровском крае и Амурской области на востоке.

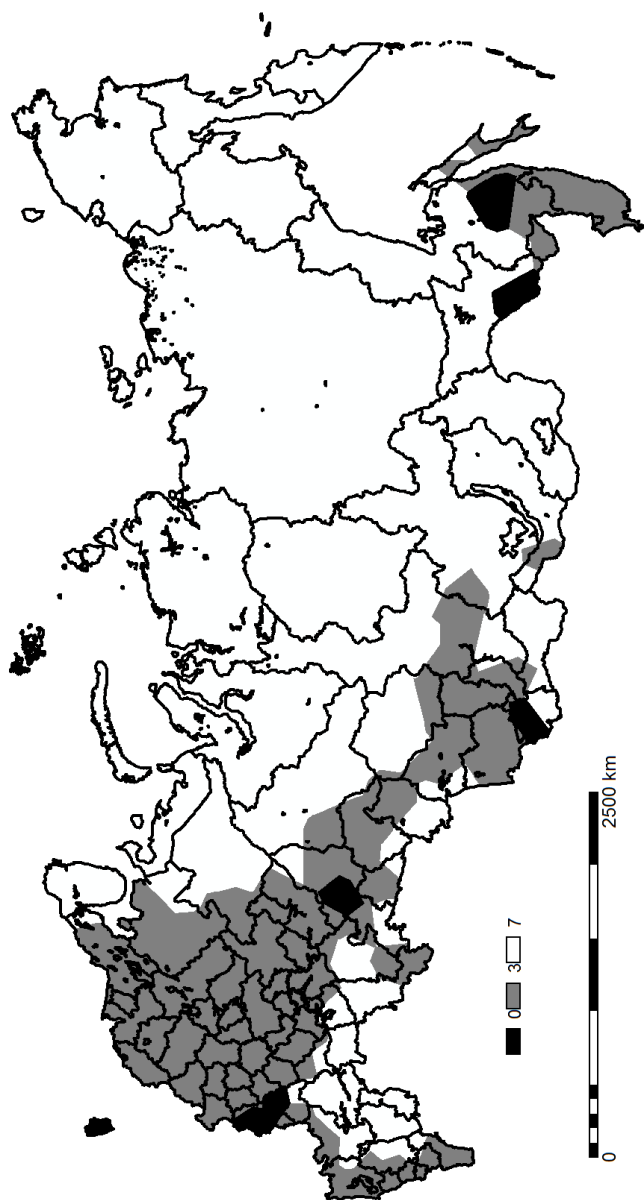


Рис. 1. Пригодность земель России для возделывания хмеля по климату (7 – непригодные, 3 – ограниченно пригодные, 0 – пригодные без ограничений).



Рис. 2. Пригодность земель России для возделывания хмеля по рельефу (0 – пригодные без ограничений, 1 – пригодные в условиях противозерозных технологий, 2 – пригодные при террасировании склонов, 7 – непригодные).

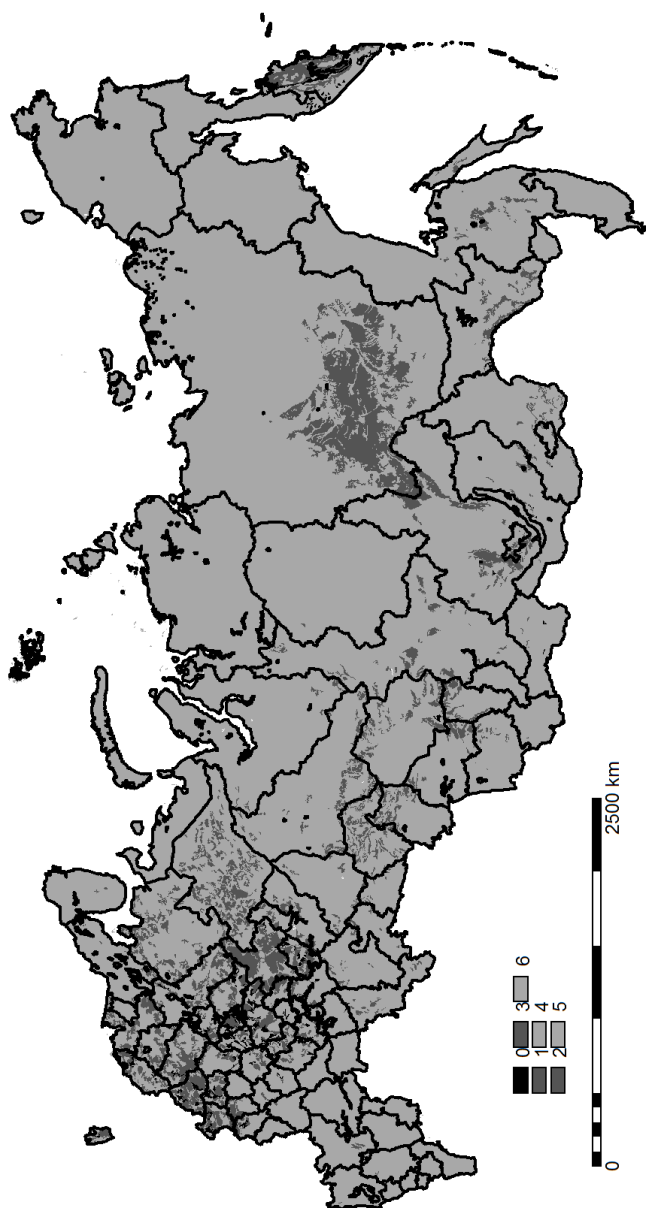


Рис. 3. Пригодность земель России для возделывания хмеля по почвам (0 – пригодные без ограничений, 1–3 – ограниченно пригодные, 4–6 – непригодные).

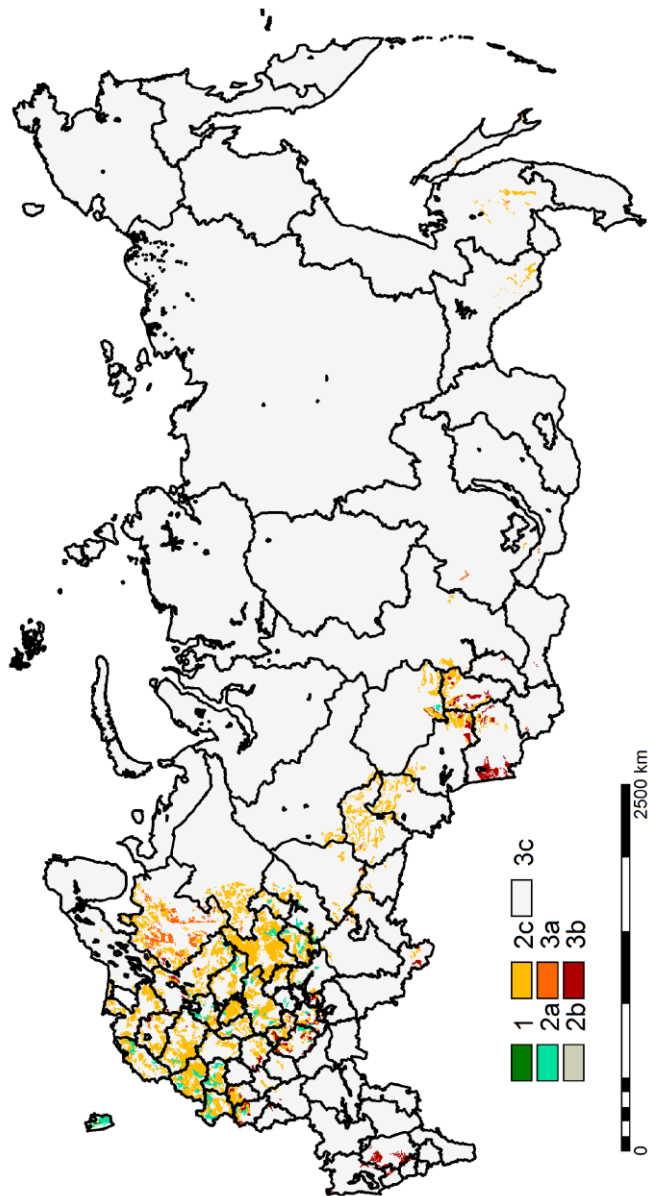


Рис. 4. Интегральная – пригодность земель России для возделывания хмеля (условные обозначения приведены на стр. 35–36).

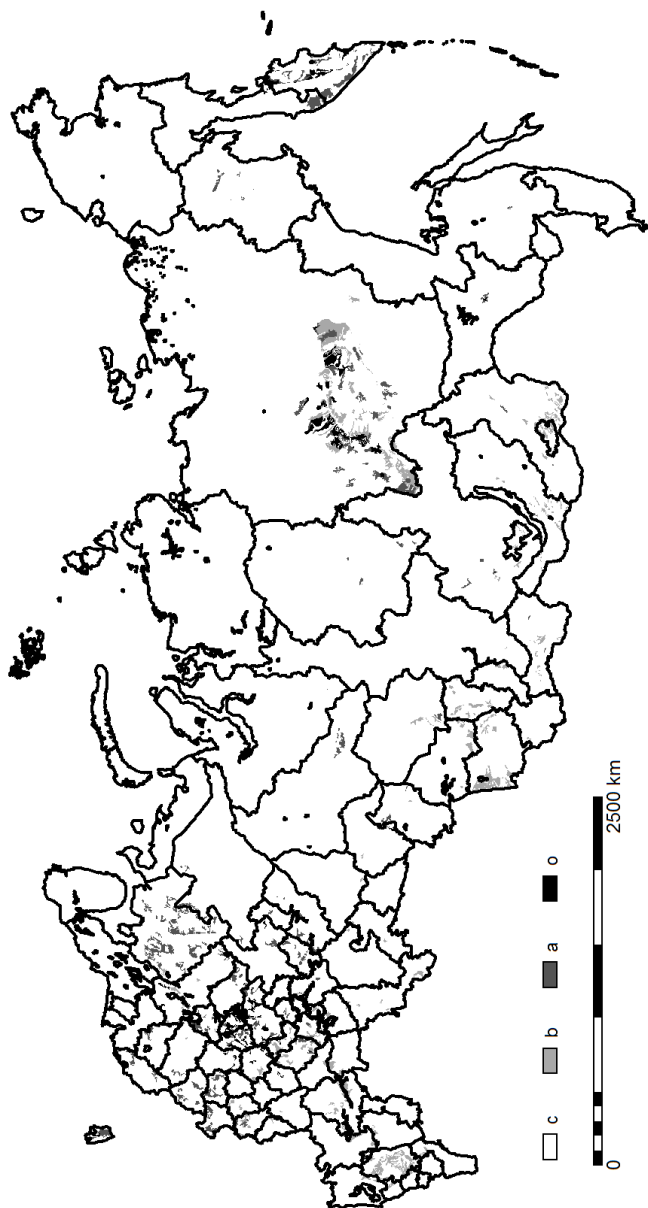


Рис. 5. Потенциальные экологические риски при использовании земель России для промышленного возделывания хмеля (условные обозначения приведены на стр. 38).

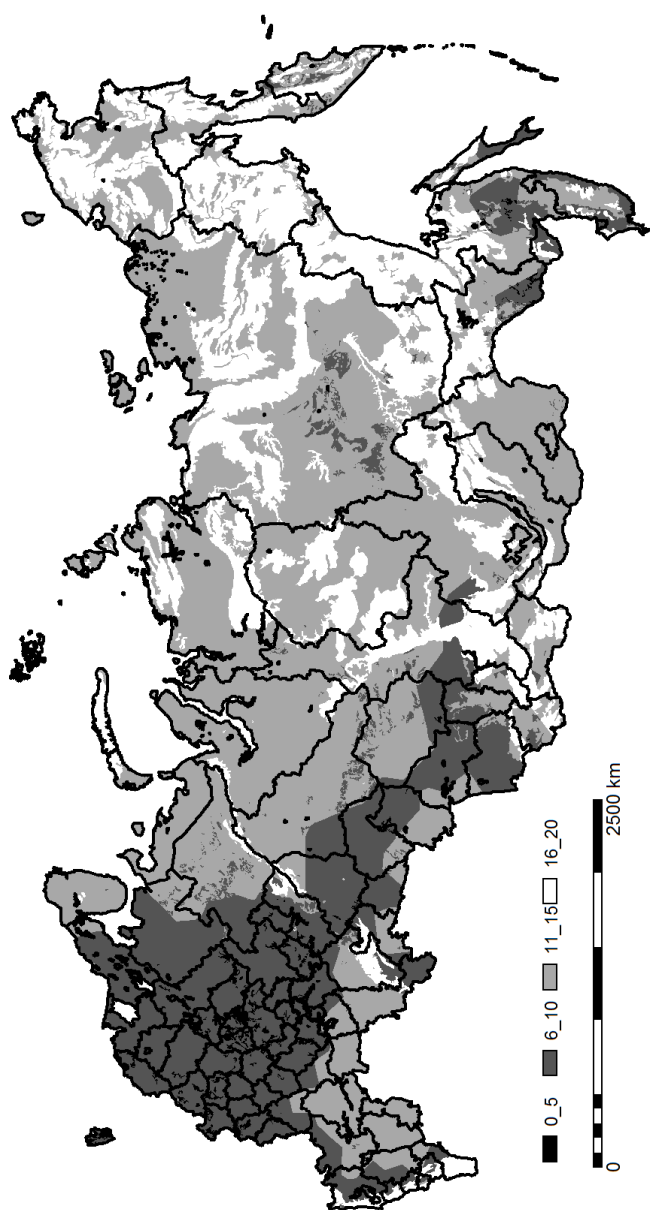


Рис. 6. Карта оценки потенциальной относительной экономической затратности возделывания хмеля (чем выше число – тем больше затратность).

Территории, на которых один или несколько климатических факторов ограничивают развитие хмеля (класс 2), занимают 23,69%. Они располагаются широкой полосой от западных границ России до Алтая, которая постепенно сужается. К ним относятся также и небольшие территории Дальнего Востока.

Климатические факторы полностью ограничивают рост и развитие хмеля (класс 3) на 74,29% территории страны. Это, прежде всего, северные территории, Урал, Сибирь, Чукотка, Дальний Восток. На юге страны непригодные территории образуют пояс вдоль южной границы. Это связано в первую очередь с недостатком влаги.

К оптимальному классу 1 пригодности по рельефу относится 28,39% территории страны. Эти равнинные участки расположены на всей европейской части России, предгорьях Кавказа, Прикаспийской низменности, на большей части Западной Сибири, Якутии, Дальнем Востоке и Чукотке. Ограниченно пригодные территории, относящиеся к классу 2а, расположены вдоль всей западной границы страны, на европейской части, Ставропольском крае, Якутии и Красноярском крае. Они занимают 32,78% площади России.

Земли, относящиеся к классу 2b, занимают 12,25% территории. Они расположены преимущественно на Урале, в Восточной Сибири, Горном Алтае, Тянь-Шане и Дальнем Востоке.

Участки абсолютно непригодные по рельефу для возделывания хмеля (класс 3) занимают 26,58% площади страны. Это преимущественно Урал, Средняя Сибирь, Горный Алтай и горы Восточной Сибири.

Карта интегральной оценки пригодности земель Российской Федерации для возделывания хмеля представлена на рис. 4.

Территории, оптимальные по всем параметрам для возделывания хмеля (класс 1), занимают 0,01%. К ним относится только часть Калининградской области.

Участки с землями класса пригодности 2а занимают 0,40% от всей площади России. К ним относятся небольшие территории, расположенные в центральных районах европейской части России.

Территории класса оценки 2b расположены отдельными очень небольшими участками в европейской части страны и суммарно занимают менее 0,01% территории.

А регионы с классом пригодности 2с занимают 3,95% территории. Они располагаются широкой полосой от западных границ России до Алтая, которая постепенно сужается к востоку.

Земли класса оценки пригодности 3а занимают 0,20% территории. Они располагаются преимущественно в предгорьях Кавказа, северной зоне европейской части России (Архангельская область) и Алтае. К этим же регионам приурочены земли с классом оценки пригодности 3б. Они занимают 0,47% площади страны. Территории класса пригодности 3с расположены на подавляющей площади страны и составляют 94,97%.

Результаты анализа пригодности, агрегированные для субъектов Российской Федерации, представлены в табл. 6.

Все оптимальные земли для промышленного возделывания хмеля расположены в Калининградской области, где они занимают около 9% от площади региона. Ограниченно пригодные земли преобладают в Брянской, Ивановской, Кировской, Смоленской областях, республике Удмуртия. Около 40–50% ограниченно пригодных земель – в Калининградской, Калужской, Нижегородской, Тверской областях.

На рис. 5 показана карта оценки потенциальных экологических рисков при использовании земель для возделывания хмеля. Земли, по своим характеристикам входящие в класс 0 (отсутствие экологических рисков), занимают 0.52% территории страны, что составляет 8.72 млн га. К этим территориям относятся небольшие участки в Калининградской области, центральных областях Европейской части, южной и средней Якутии, а также на Камчатке.

Регионы с небольшими экологическими рисками (класс а) занимают 1,22% территории страны. Они расположены в Калининградской области, западных, северных и центральных районах европейской части России, Якутии и на дальнем Востоке.

Участки со средней выраженностью потенциальных экологических рисков (класс б) занимают 1,36% территории страны. Они расположены в предгорьях Кавказа, южных областях европейской части России, Алтае, южных и центральных районах Якутии. К территориям с сильными экологическими рисками (класса с) относится большая часть страны. Они занимают 96,89% ее площади.

Таблица 6. Результаты интегральной оценки пригодности земель Российской Федерации для возделывания хмеля по регионам

Регион	Класс и подкласс пригодности, % от площади региона						
	оптима- льный	ограниченно пригодный			непригодный		
		1	2а	2б	2с	3а	3б
Агинский Бурятский А.О.	—	—	—	—	—	—	100,00
Алтайский край	—	—	—	2,99	—	10,39	86,62
Амурская область	—	—	—	1,53	—	—	98,47
Архангельская область	—	0,03	—	15,39	9,76	0,25	74,57
Астраханская область	—	—	—	—	—	—	100
Белгородская область	—	—	—	0,19	—	1,84	97,97
Брянская область	—	16,62	—	44,11	—	—	39,27
Владимирская область	—	3,27	—	32,16	—	—	64,57
Волгоградская область	—	—	—	—	—	—	100,00
Вологодская область	—	1,61	—	24,66	—	2,72	71,01
Воронежская область	—	—	—	1,01	—	0,24	98,75
Горный Алтай	—	—	—	0,11	—	0,27	99,62
Еврейская А.О.	—	—	—	—	—	—	100,00
Екатеринбургская область	—	0,08	—	3,64	—	0,21	96,07
Ивановская область	—	3,36	—	67,47	—	—	29,17
Иркутская область	—	—	—	0,06	0,13	—	99,81
Калининградская область	9,22	35,00	—	7,79	—	—	47,95
Калужская область	—	17,06	—	32,36	—	—	50,58
Камчатская область	—	—	—	—	—	—	100,00
Кемеровская область	—	—	—	17,65	—	7,51	74,84
Кировская область	—	1,99	—	60,33	—	0,04	37,64
Коми-Пермьцкий А.О.	—	1,52	—	16,99	—	—	81,49
Корякский А.О.	—	—	—	—	—	—	100,00
Костромская область	—	6,70	—	29,98	—	—	63,32
Краснодарский край	—	—	—	—	—	2,51	97,49
Красноярский край	—	—	—	0,68	—	—	99,32
Самарская область	—	—	—	0,44	—	0,73	98,83
Курганская область	—	—	—	3,48	—	—	96,52
Курская область	—	5,23	—	18,11	—	10,19	66,47
Ленинградская область	—	0,20	—	30,74	0,41	0,03	68,62
Липецкая область	—	0,11	—	6,85	—	0,83	92,21
Магаданская область	—	—	—	—	—	—	100,00
Московская область	—	1,28	—	21,42	—	—	77,30
Мурманская область	—	—	—	—	—	—	100,00

Регион	Класс и подкласс пригодности, % от площади региона						
	оптимальный	ограниченно пригодный			непригодный		
	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Ненецкий А.О.	—	—	—	—	—	—	100,00
Нижегородская область	—	6,82	—	37,79	—	0,27	55,12
Новгородская область	—	0,05	—	29,01	3,69	—	67,25
Новосибирская область	—	—	—	9,99	—	2,89	87,12
Омская область	—	—	—	12,55	—	0,20	87,25
Оренбургская область	—	—	—	1,12	—	2,39	96,49
Орловская область	—	0,41	—	36,73	—	6,02	56,84
Пензенская область	—	6,02	—	14,00	—	14,24	65,74
Пермская область	—	3,77	—	8,79	—	—	87,44
Приморский край	—	—	—	—	—	—	100,00
Псковская область	—	7,29	—	30,50	—	0,19	62,02
Республика Адыгея	—	—	—	—	—	—	100,00
Республика Башкирия	—	0,05	—	2,20	—	0,19	97,56
Республика Бурятия	—	—	—	0,04	—	0,09	99,87
Республика Дагестан	—	—	—	—	—	0,20	99,80
Республика Кабардино-Балкария	—	—	—	—	—	9,39	90,61
Республика Калмыкия	—	—	—	—	—	—	100,00
Республика Карачаево-Черкесия	—	—	—	—	—	12,06	87,94
Республика Карелия	—	—	—	3,69	—	—	96,31
Республика Коми	—	—	—	6,86	0,22	—	92,92
Республика Марий-Эл	—	—	—	31,90	—	—	68,10
Республика Мордовия	—	3,73	—	31,48	—	14,45	50,34
Республика Саха-Якутия	—	—	—	—	—	—	100,00
Республика Северная Осетия	—	—	—	—	—	—	100,00
Республика Татарстан	—	1,74	—	12,24	—	—	86,02
Республика Тува	—	—	—	—	—	0,09	99,01
Республика Удмуртия	—	8,58	—	43,13	—	—	48,29
Республика Хакасия	—	—	—	0,16	—	0,62	99,22
Республика Чувашия	—	5,61	—	0,68	—	—	93,71
Ростовская область	—	—	—	—	—	—	100,00
Рязанская область	—	1,40	—	17,15	—	4,38	77,07
Саратовская область	—	0,05	—	0,07	—	0,69	99,19
Сахалинская область	—	—	—	1,71	—	—	98,29
Смоленская область	—	10,91	—	60,66	—	—	28,43

Регион	Класс и подкласс пригодности, % от площади региона						
	оптимальный	ограниченно пригодный			непригодный		
	1	2а	2б	2с	3а	3б	3с
Ставропольский край	–	–	–	0,38	–	14,29	85,33
Таймырский А.О.	–	–	–	–	–	–	100,00
Тамбовская область	–	1,68	–	3,13	–	–	95,19
Тверская область	–	2,33	–	40,12	–	0,51	57,04
Томская область	–	0,39	–	4,60	–	0,31	94,70
Тульская область	–	0,39	–	3,25	–	–	96,36
Тюменская область	–	–	–	18,72	–	0,17	81,11
Ульяновская область	–	3,56	–	16,07	–	11,74	68,63
Усть-Орда	–	–	–	–	–	–	100,00
Хабаровский край	–	–	–	0,93	0,05	–	99,02
Ханты-Мансийский А.О.	–	–	–	1,38	–	–	98,62
Челябинская область	–	–	–	3,11	–	0,40	96,49
Чечня	–	–	–	–	–	0,93	99,07
Читинская область	–	–	–	–	–	–	100,00
Чукотский А.О.	–	–	–	–	–	–	100,00
Эвенкийский А.О.	–	–	–	–	–	–	100,00
Ямало-Ненецкий А.О.	–	–	–	–	–	–	100,00
Ярославская область	–	14,32	–	24,69	–	0,77	60,22

На рис. 6 представлена карта оценки потенциальной относительной экономической затратности возделывания хмеля. В соответствии с картой, в России преобладают потенциально сильно- и среднезатратные регионы. Территории, набравшие 0 баллов, занимают менее 0,01% от территории страны;

1 балл	0,03%,	11 баллов	3,86%,
2 балла	>0,01%,	12 баллов	0,98%,
3 балла	0,23%,	13 баллов	19,19%,
4 балла	0,40%,	14 баллов	17,59%,
5 балла	0,08%,	15 баллов	9,67%,
6 баллов	1,48%,	16 баллов	2,10%,
7 баллов	3,25%,	17 баллов	0,55%,
8 баллов	0,78%,	18 баллов	0,08%,
9 баллов	6,63%,	19 баллов	0,04%,
10 баллов	10,10%,	20 баллов	22,97%

В целом можно сказать, что наименьшие потенциальные затраты отмечены на территории европейской части России, юге Западной Сибири и Дальнем Востоке, на теплых равнинных (с уклонами до 2°) формах рельефа.

Существенные потенциальные вложения требуют территории юга России, севера европейской части, центральные и северные районы Западной Сибири и средняя часть Восточной Сибири.

Самые большие потенциальные вложения требуют горные районы: Урал, Горный Алтай, горы Восточной Сибири и Дальнего Востока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе оценки пригодности земель данные в целом хорошо коррелируют с фактическим размещением районов промышленного возделывания хмеля. Одновременно, выявлены достаточно благоприятные регионы, которые в настоящее время для возделывания хмеля не используются.

Оценка почвенных условий показала, что оптимальными для промышленного возделывания хмеля являются небольшие участки в Центрально-Европейской части России, Калининградской области и на Камчатке. Суммарно они занимают около 0,88% территории страны. Непригодно по почвам около 90% территории страны, и лишь около 2% из них могут быть улучшены до класса ограниченно пригодных.

Территории с оптимальным для возделывания хмеля климатом занимают 2,02% территории страны. Климатические факторы полностью ограничивают рост и развитие хмеля на 74,29% территории страны. К оптимальному классу пригодности по рельефу относится 28,39% территории. Участки абсолютно непригодные по рельефу для возделывания хмеля занимают 26,58% площади страны.

Территории, оптимальные по всем параметрам для возделывания хмеля занимают всего 0,01%. Абсолютно преобладают (более 95% от площади страны) земли, непригодные для возделывания хмеля.

Все оптимальные земли для промышленного возделывания хмеля расположены в Калининградской области, что весьма интересно в связи с тем обстоятельством, что именно этот регион яв-

ляется наиболее показательным в части экспансии технологий ячменного пивоварения и доминированием агрохолдингов. Ограниченно пригодные земли преобладают в Брянской, Ивановской, Кировской, Смоленской областях, республике Удмуртия. Около 40–50% ограниченно пригодных земель – в Калининградской, Калужской, Нижегородской, Тверской областях.

При возделывании хмеля преобладающая часть земель имеет высокие экологические риски. Риски отсутствуют лишь на 0,52% территории страны. К ним относятся небольшие участки в Калининградской области, центральных областях европейской части, южной и средней Якутии, а также на Камчатке.

Возделывание хмеля потенциально требует наименьших экономических затрат на территории европейской части России, юге Западной Сибири и Дальнем Востоке. Самые большие потенциальные вложения при использовании земель под промышленное возделывание хмеля потребуют горные районы страны: Урал, Горный Алтай, горы Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Описанные подходы к анализу ресурсного потенциала земель могут быть использованы и на более детальном уровне для планирования закладки реальных хмельников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александров Н.А., Крылова М.И., Рупошев А.Р.* Хмель. М.: Росагропромиздат, 1991.
2. *Виноградов В.Н.* Хмелеводство. Горький: Горьк. СХИ, 1977.
3. *Годованый А.А.* Интенсификация хмелеводства и программирование урожаев. Киев: Урожай, 1990.
4. Государственная почвенно-географическая база данных России / Отв. ред. А.Л. Иванов. М., 2014. (в печати)
5. *Долгилевич М.И., Кардашов А.Т.* Экология хмельников. Киев: Изд-во УСХА, 1990.
6. *Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Ресурсный потенциал земель Краснодарского края для возделывания плодовых культур. Краснодар, 2005.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73.

7. Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Овечкин С.В., Смирнова Л.А., Желнакова Л.И., Каторгин И.Ю., Антонов С.А., Андреев Д.Ю. Анализ ресурсного потенциала земель Ставропольского края для возделывания плодовых культур. М., 2007.
8. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 6. С. 41–45.
9. Карманов И.И., Булгаков Д.С., Шишонакова Е.А. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 65–83.
10. Либацкий Е.П. Хмелеводство. М.: Колос, 1993.
11. Нефтялиев М.Д., Загиров Н.Г., Савин И.Ю. Агроэкологическое моделирование оптимального размещения плодового, овощного и виноградарства в Дагестане // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 5. С. 9–11.
12. Практикум по хмелеводству / Под ред. Н.А. Александрова. М.: Агропромиздат, 1989.
13. Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий. Дис. ... д. с.-х. н. М., 2004.
14. Савин И.Ю., Кирьянова Е.Ю., Трунов Ю.В., Цуканова Е.М., Соловьев А.В. Геоинформационный анализ рельефа Тамбовской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 6. С. 36.
15. Савин И.Ю., Федорова А.С. Геоинформационное моделирование структуры землепользования отдельного хозяйства // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 2. С. 25–29.
16. Слатенников В.В. Биология и агротехника хмеля. М.: Россельхозиздат, 1971.

17. *Savin I.* Climatic Stations // Land Resources of Russia / Stolbovoi V., McCallum I. International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria, 2002. (CD-ROM)
18. *Stolbovoi V., McCallum I.* Land Resources of Russia. International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria, 2002. (CD-ROM)

METHODOLOGY OF LAND RESOURCES ASSESSMENT FOR AGRICULTURAL PRODUCTION IN RUSSIA (AT THE EXAMPLE OF HOP CULTIVATION

© 2014 A. Ivanov, I. Savin, A. Egorov

Original methodology for land evaluation was elaborated as based on GIS technologies and FAO land evaluation approaches. Unique register of soil resources of Russia was used as a basis for land suitability analysis for hop cultivation in Russia. Optimal territories for hop cultivation occupy in Russia only 0.01% of lands. Greatest constraints for hop cultivation are associated with the soil and climatic conditions. The smallest potential expenditures for the cultivation of hop are expected for the territory of European Russia, the south of West Siberia and in the Far East on the “warm” plains. The greatest investments will be required for the cultivation of hop in the mountain regions of the Urals, Altai, in the mountains of East Siberia and Far East.

Keywords: methodology of land evaluation, hop, resource potential of Russian lands.

Russian agricultural-industrial production with the unbalanced economics, hypertrophied prevalence of large agricultural holdings and restrained development of middle-and small-scale farms (peasant, private farms) is urgently required in optimizing the land use structure based upon the scientifically-grounded evaluation of the country’s natural (soil) resources and biodiversity potential.

The hop production as a traditional trade in Russia is experiencing hard times now. The expanded commodity output of barley brewing and technologies adopted in foreign countries serve as evidence of shortening the lands under this crop and the hop production on the whole. However, apart from exceptional possibilities in brewing, the hop reveals valuable pharmacological properties. Only the development of balanced many-sided economic structure in the agricultural-industrial complex may be

conductive to advancing the hop production, the latter being developed by different farmers at the support of the government and market conjuncture.

Today, under conditions of market economics the problem of hop cultivation in accordance with the quality of lands and their suitability for this crop is becoming very acute and will permit to increase hop yield and economic efficiency of hop production. The hop is cultivated now leaving out of account its environmental requirements. Due to this fact the hop-fields take place on unsuitable soils, whereas the areas as optimal for hop are used to cultivate the other crops.

The united State register of soil resources in Russia [8] is based on GIS-technologies being a scientific basis for a comprehensive analysis of soil and land resources in the country.

OBJECT OF RESEARCH

The hop cultivated in agricultural production is a perennial plant (*Humulux lupulus L.*), in botanical terms it is related to hemp included into Cannabineae family and Urticaceae order. This is a perennial dioecious climbing liana with annually appearing sprouts. Perennial is only the underground part of hop that is functioning for more than 20 years. The terrestrial organs of this plant (vegetative and generative ones) are active every year in the spring, at the end of vegetation period they become dead in the winter.

Following N.I. Vavilov's statement, the hop has been originated among mediterranean cultural plants. The area occupied by wild hop is stretched far to the north, where it has been probably used as a crop. According to V. Linke the northern and central Europe is a native land for hop, but L.Venta considers that the primary geobotanic area of hop distribution can be fertile soils in valleys and piedmont of Caucasus as well as in coastal areas of the Black Sea. Having migrated in II–V centuries, the

Slav people promoted to the hop distribution at the territory of Central Europe [1].

The underground part of hop includes roots and a rootstock with sprouts. The rootstock (rhizome) penetrates deep into the depth of 4m and branches in numerous small roots at a depth of 1m. The distribution pattern of hop roots allows dividing them into horizontal, inclined and vertical ones. Horizontal roots are almost parallel to the soil surface being deviated to 20°. The depth of their penetration is highly dependent on a soil type, plant species, etc. Inclined roots are developed at an angle of 20–60° and penetrate into deeper soil layers embracing a great volume of soil and providing the plants with water and nutrients. Vertical roots display deviation of more than 60°. They can be different in age and origin, receive nutrient elements from lower soil layers and make the plants rather stable.

The terrestrial vegetative organs of hop consist of a stalk, branches and leaves. The stalk is an annual climbing liana of 8–15 mm thick. The stalk section is a hexahedron by nature; its sides are prickly to be clutched at something. The stalk and its three upper internodes in particular are twined clockwise with the sun reaching a diameter of 50cm. The ribbed young sprouts are completely filled up by a medulla, when they are grown a cavity is formed with elbowed nodes. The hop stalk length depends on alternative ripening and has 3m in case of early growth and 12m when the plant arrives at maturity rather late. The hop stalk displays two functions and serves for moving the nutrients to all the plant organs as well as for providing mechanical stability of plants (to keep the stable state in space, to turn leaves to the sun light, to bear load of branches, etc.). The hop foliage is pedicle with small leaves near the base. The blade surface is palmate but in branches it is three-lobed. The leaves along the stalk are quite different being three-five-lobed near the base, five-lobed and seldom seven-lobed in the middle part of the stalk and three-lobed in the upper stalk part. The blade edges are unevenly palmated,

serrated with netted venation. The blade surface especially its upper part are covered by stinging hairs.

The hop generative organs include a flower and fruit (seed). Feminine plants have a flower cluster transformed later into a seed ball (knobs), the masculine plants form panicles. These plants reveal no difference before budding. The diclinous pattern of plants is conditioned by cross-pollination of flowers. The hop is a wind-pollinated plant what is reflected by the growth and development of generative organs: flowers are rather small; they have no bright color and aroma being represented by clusters. After blossoming the clusters are spread in growing and transformed into a knob. The latter is forming for 15–30 days in dependence on the plant variety, agricultural practices and climatic conditions. When the feminine flowers are inseminated, the seeds are formed in knobs. In Russia the hop culture is aimed at growing seedless knobs.

In Russia the subspecies of wild hop is grown in the zone of temperate climate. The northern boundary of its botanical zone is located in the regions of Karelia and Northern Dvina and Vychegda river basin (Lat. 66–60°N). In Komi it falls lower than Lat. 60°N to be stretched to the Ural. In Western Siberia the hop distribution is observed southwards to Lat. 58–59°N. In western Trans-Angara region (Lat. 95°N) its boundary swings to the west to be in the piedmont of Sayan and Altai mountains. Thus, this boundary is located somewhat lower than that of the permafrost. In the zone of frozen lands there are thawing areas, where the wild hop is met.

The southern boundary of the wild hop distribution lies along the frontier of Russia with the exception of the zone adjacent to the Caspian Sea. The hop culture was known in the Far East as well. At present, there exist areas occupied by wild hop in the south of Primorie and the middle Amur stream. The southern boundary of frozen land distribution is stretched along the left bank of Lower Amur.

The zone, in which the wild hop has no distribution, embrace Astrakhan, Irkutsk, Magadan, Murmansk, Chita regions, Komi-Permyatskiy, Koryakskiy, Nenetskiy, Taimyrskiy, Khanty-Mansiskiy, Chukotskiy, Evenskiy autonomous districts, Republics of Buryatia, Kalmykia, Komi, Sakha-Yakutia, Tuva [10, 16].

When comparing to the botanical zone of wild hop growing, it is worth emphasizing that the zone of the commodity output of hop production should be theoretically limited by natural-climatic parameters to advance its profitable production.

At present, the hop production is mainly concentrated in 11 administrative regions of the country including Belgorod, Bryansk, Voronezh, Vyatka, Kursk, Moscow, Penza regions, Altai Territory, Republics of Mountain Altai, Mariy-El and Chuvashia. Among them only the last three regions enable to export the hop, in the other regions the hop production provides only demands of local enterprises.

In different historical periods the commodity output of hop production has taken place at the territory of Vladimir, Ivanovo, Kostroma, Orel, Ryazan, Smolensk, Tula, Ulianovsk (Simbirsk), Ekaterinburg (in the south), Krasnodar and Stavropol regions, in Republics of Bashkiria, Tataria, Checheno-Ingushetia [1].

INVESTIGATION METHOD

The soil-geographical database of Russia (2014) [4] as well as the data about relief and climate included into the database “Land Resources of Russia” [15, 18] were used as a basis for evaluating the land suitability. Preliminary these data were given in a united spatial resolution with pixel of 5×5 km (2500 ha) to be optimal from viewpoint of initial maps scale. Thus, the elementary area unit made up 2500 ha.

As a methodological base for evaluating the land suitability different approaches adopted by FAO and based upon GIS-technologies found an application [13]. They have been approbated for crops in different regions of the country to be assessed

as most reliable [6, 7, 11, 14, 15]. As distinct from current native approaches based upon statistical data about crop yield [9] the above approaches imply a comprehensive analysis of environmental peculiar features of crops.

At the first stage of creating the models to evaluate the land suitability the properties of lands have been chosen as affected upon the growth and development of hop at the territory of the Russian Federation. These properties were divided into three blocks including soil, climatic and relief ones to be classified according to their optimum for crop. Three classes were taken for every land property: optimal, slightly suitable and unsuitable. The first class includes optimal properties that don't limit the crop growth and development. In the second class (slightly suitable) are properties that restrict the crop growth and development but can reach optimal parameters after their improvement. Unsuitable properties (the third class of suitability) serve as a limiting factor for crop cultivation and only a complex of measures to improve them permit to consider these properties as slightly suitable ones.

Moreover, three subclasses (a, b, c) were defined. The subclass **a** – consists of areas, the limiting factors of which can be optimized using different management practices (for instance, liming). In the subclass **b** are the areas that can be improved by such ameliorative measures as drainage, irrigation, terracing, etc. To subclass **c** – we relate the areas, where there is no possibility to optimize a limiting factor (deficit of heat, sun radiation) or their improvement is associated with an ecological risk (erosion on slopes of 15°) or high economical expenditures (the increased amount of stones).

The hop is rather sensitive to soil. The latter should display favorable physical properties including the efficient water capacity, heat and air regimes. Such properties are inherent to friable soils. Being cultivated on compacted soils, the hop suffers from the water and air deficit. The compaction of soil horizons and

especially subsoil to 1.5–1.6 g/cm³ prevents the root penetration into them to be efficiently grown and developed. The active soil layer for hop is at a depth of 2m that is why the subsoil properties should be taken into complete account to evaluate the land suitability for this crop. The slightly compacted subsoil is most favorable for hop.

The hop growth and development is highly affected by the hydrothermal regime, aeration, soil consistence, composition and structure.. For example, in steppe regions the hop roots can penetrate into the soil and obtain the water from a great depth, however, they have a horizontal root system in the soil humus horizon to be supplied with nutrients.

The particle size composition of soils has a significant influence on the hop growth and development and the hop productivity is highly dependent on the particle size and chemical composition. The most favorable combination of sand, clay and humus is usually observed in the middle-loamy soil. The hop yield is rather low on sandy and clay soils.

The chemical composition of soil solution is an ecological factor of primary importance. The hop is regarded to neutrophilic plants and can be developed only on soils with slightly acid pH enriched with exchangeable bases. The hop is grown well on soils with pH 5.6–6.0 and hydrolytical acidity equaled to 1.5–2.0 me/100g. Such conditions are inherent only to small areas of soddy podzolic and gray forest soils. These soils are characterized by a higher acidity and unfavorable physical-chemical properties: the increased amount of mobile Al, Mg and Fe that become toxic in higher concentrations. The acid and alkaline pH is not suitable for the hop. Under these conditions the leaves display a chlorinity at the first stages of the plant growth. A higher acidity degree deteriorates the calcium nutrition of plants because the hydrogen ions not only delay the input of Ca and the other cations to the plant but also replace them from the root surface

adversely affecting the biochemical processes in plants and their nutrition.

The hop requires a special nutrition regime. Being considered as a nitrophilous plant, the hop is needed in soil nitrogen. During the vegetation period the hop takes up N, P, K and Ca by 2–4 times higher as compared to cereal crops. The hop removal of nutrients for 1 ton makes up 84 kg of N, 35 kg of P and 92 kg of K. For 1 ton of knobs the hop removes from the soil 70–100 kg of N, 40–60 kg of P, 110–135 kg of K and 80–120 kg of Ca. Specific requirements of hop to soils are determined by its prolonged growing in monoculture and penetrating its root system into deeper soil horizons.

Unswampy and nonsaline soils underlain by uncompacted parent materials with the ground water level at a depth of 2.0–2.5 m and deep carbonate horizons are most suitable for the hop production. Having reached the close water-bearing impermeable layers, the root system of hop seems to be in the bad aeration zone and disappears. Under these conditions the terrestrial part of plants is enriched with water what is also unfavorable for their growth and development.

The hop is well grown on soils with a higher amount of heat in the summer. The compacted, moistened and cold soils are unfavorable for hop and cause different diseases of this plant. At the same time, the hop needs in much water, that's why the irrigation is required for the plants grown on dry soils [5, 13].

A comprehensive analysis was made to evaluate the following soil properties: pH, the ground water level, the content of carbonates and gypsum, the particle size distribution, stoniness, the bulk density, the thickness of soil profile, periodical flooding. A special scale was given to evaluate the suitability of each soil property.

The particle size distribution plays an important role in the development of physical-chemical soil properties and hence has a great influence on the plant growth and development. For the hop

are favorable light-and middle-loamy soils to be included into the first class of suitability. The loam-sandy and heavy-loamy soils eliminate the plant growth. They are included into the second class of suitability. The physical-chemical properties of sandy and clay soils are unfavorable for the hop. They are referred to the third class of suitability.

The soil stoniness is a limiting factor for the hop. Optimal are the soils, the content of stones in which doesn't exceed 1%. The soils, having the stoniness not more than 3% and the stones are detritus-pebble by nature, are referred to the second class of suitability. If the stoniness is more than 3% and the stones are represented by blocks, it is the third class of suitability.

The hop response to *the bulk density of soil* is rather high. The first class of suitability includes the soils, the bulk density of which is 1.1–1.3 g/cm³, the second class – the soils with bulk density 0.9–1.1 g/cm³ and the third class consists of unsuitable soils with the bulk density of less than 0.9 g/cm³ and more than 1.5 g/cm³.

Being penetrated deep into the soil, the hop roots require a great *thickness of fine earth*. In soils with a shallow profile the hop root system is not capable to develop and provide the plant with sufficient nutrients. The soils with the thickness of profile less than 100 cm are unfavorable; slightly favorable are the soils, the profile thickness of which is 100–150 cm. If the soil profile exceeds 150cm, they are considered as favorable for hop growth and development.

The hop is well grown in elevated flat areas; the low, periodically flooded areas are unsuitable for it. The areas suffered from rare flooding (once for ten years) exemplified by high floodplains, are referred to the second class of suitability. The third class of suitability includes the soils that are subject to systematical flood as well as swampy soils.

To classify soils according to their suitability for the hop growth and development, every soil property was comprehen-

sively analyzed and evaluated using the “method of maximal limitation”, i.e. the class of soil suitability could not be higher than the class of the worsen property. Thus, all the soils of Russia have been divided into the following classes:

class 1 – soils, which are optimal for the hop according to all the evaluated parameters;

class 2a – soils with properties, limiting the hop growth and development but they can be optimized by using efficient management practices;

class 2b – soils with properties restricting the hop growth and development but can be improved to optimal values (decrease in the ground water depth, the content of carbonates and gypsum);

class 2c – soils with properties limiting the hop growth and development, that cannot be changed and improved due to great expenditures (particle size distribution, stoniness, bulk density, thickness of soil profile, periodical flooding); as distinct from class 2, the class 3 includes soils restricting the hop growth and development to a considerable extent;

class 3a – soils with properties unfavorable for the hop but they can be improved up to slightly suitable values;

class 3b – soils with properties unsuitable for the hop, however, their improvement is associated with a complex of ameliorative measures (decrease in the ground water level, the content of carbonates and gypsum);

class 3c – soils with properties unsuitable for hop growth and development. It is impossible to improve them or their reclamation requires great expenditures.

The class x was separately identified as included soil-geographical contours with the very complicated soil cover, where the soils have been differently evaluated according to their suitability.

The land suitability was also evaluated according to climatic conditions.

The hop is a light-requiring plant. During the vegetation period this plant is needed in 1500–1700 hours of the sun radiation and the half of this radiation should be used in the period of blossoming up to maturity of knobs. In case of good sun light the foliage is increased, a great amount of knobs is formed especially in middle and lower parts of the plant. The even lighting depends on a density of hop plantation. 14–18 thousand of productive stalks per 1 hectare are sufficient for a high crop yield. Due to shading the plant growth becomes slower, buds and flowers are dead, knobs are friable and light-green in color.

The hop is a plant requiring a long-and short-day. It begins to blossom when the day is long and then changed by a short day. In the south, where the days are shorter, the hop starts blossoming earlier than in the central part of the country. The light exerts an effect on transpiration of leaves, changes in growth direction and strength of branches, structure and habitus of the crone, blossoming and fruiting intensity. Due to the increased light the plants are subject to diseases and insects to a lesser extent, their duration of life and productivity become enhanced.

The hop is a crop growing within the area of moderate climate with annual average temperature 1.5–8.5°C and active temperature sum (higher than 10°C) equaled to 1000–1500°C. In the northern zone with an efficient amount of moisture the sum of active temperatures required for the early-ripe hop cultivation makes up 1700°, in the southern zone it is 2500–2900°C for late-ripe species of hop. The northern border of hop production lies through the zone with average temperature of 14.3–15.0°C during the vegetation period. The most favorable average daily temperature for the hop is 15–17°C without sharply expressed fluctuations in the day-time and night.

In different periods of life the hop needs in uneven amount of heat. The underground parts of last year's stalks are in full bud at temperature 3–4°C and their growth starts at 5–6°C. At daily temperature >10°C the sprouts appear after 10–15 days, in case

of lower temperature – after 19–20 days. During the prolonged fall of temperature the leaves begin to turn yellow, the productivity becomes rather low. The stalks are grown at temperature $> 10^{\circ}\text{C}$, branches – at temperature higher than 14°C , the most favorable conditions for their growth are $17\text{--}18^{\circ}\text{C}$. $450\text{--}550^{\circ}\text{C}$ are required for plants in the period of their branch formation. The hop is especially sensitive to heat in period of blossoming and knob formation. The average daily temperature $15\text{--}21^{\circ}\text{C}$ permits to harvest $150\text{--}200\text{ kg/ha}$ of buds (Bryanskiy cultivar). The average daily temperature $14\text{--}19^{\circ}\text{C}$ is most favorable for the bud formation. The efficient accumulation of bitter substances in buds occurs at average daily temperature of $14\text{--}18^{\circ}\text{C}$, their accumulation is decreased due to decreasing temperature to $9\text{--}13^{\circ}\text{C}$. The air temperature higher than 40°C leads to burn of different plant parts and to decrease in the quantity and quality of yield.

The hop is a water-loving plant. The top yield can be only in regions with precipitation of $500\text{--}600\text{ mm}$. It becomes considerably lower in years when the precipitation is 200mm in the vegetation period (80 mm in the period of blossoming and less than 120mm after this period). The growth and development of hop is highly affected by the rainfall in different time of the vegetation period. In spring the water supply in soil is usually sufficient for plant sprouts, later the water need becomes increased. A great water amount is required in the period of blossoming and knob formation; when the knobs begin to ripe the excessive precipitation is already undesirable. Within the Non-Chernozem zone the hop takes up 2.2 mm of water per day in the period of sprout formation, 3.9 mm in the period of blossoming, 4.1 mm during the knob formation and 2.5mm in the period of maturity. An adverse effect of excessive moisture on the hop yield is observed in the years when the heat balance is rather low. The knob quality is also dependent on water supply in soil, particularly in the period of formation and maturity of knobs. So, $120\text{--}170\text{ mm}$

of precipitation in Mai–June and 80–110 mm in July are quite sufficient for the hop yield of high quality. The knobs have a lower quality if the precipitation in Mai–June is 80mm and in July – less than 35mm. The greatest amount of bitter substances is formed in knobs when the average daily precipitation makes up 1.1 mm [1, 3, 16].

To evaluate the climatic conditions 5 factors affecting the hop cultivation have been identified:

- 1) average temperature for the vegetation period;
- 2) the sum of positive temperatures for the vegetation period;
- 3) average annual temperature;
- 4) the total amount of precipitation for a year;
- 5) the total amount of precipitation for the vegetation period.

An estimate scale was created as provided with an interim map of suitability for every factor (Table 1).

To compile a map of land suitability owing to the climate conditions all the interim maps were superposed and each contour was estimated by using every factor. Based upon the principle of “maximal limitation” the contour was estimated as a “worsen” class.

Class 1 – areas, where the climatic factor is optimal.

Class 2 – areas, where the climatic factor is not optimal and eliminates the hop growth and development, but some factors can be optimized, for instance, irrigation in case of water deficit.

Class 3 – areas, where the hop cultivation is impossible due to unfavorable climatic conditions.

Relief is not included into environmental factors to influence on their re-distribution in space. The spatial variability of climatic factors is taken into consideration in the course of analyzing the climatic conditions.

Table 1. Classes of land suitability according to climate conditions

Factor	Suitability class		
	unsuitable (3)	Restrictively suitable(2)	optimal (1)
Average temperature for the vegetation period	< 9	9–14 and > 19	14–19
Sum of positive temperatures for the vegetation period	< 1700	1700–2200	>2200
Temperature averaged for a year	< –1.5	–1.5–7.0 and > 9.0	7.0–9.0
Annual precipitation	< 450	450–500 and > 600	500–600
Sum of precipitation for the vegetation period	< 200	200–250 and > 450	250–450

The following classes of land suitability were specified with taking into account the relief for hop cultivation:

Class 1 – areas with inclination of 0°–2°;

Class 2 – areas with inclination of 2°–8°;

Class 2b – areas with inclination of 8°–15°;

Class 3 – areas with slopes more than 15°.

At the territory included into class 1 °the erosion processes are absent what allows cultivating the hop with minimal additional expenditures.

At the territory of class 2 there are erosion processes; a complex of preventive measures is required to cultivate the hop.

At the territory of class 2b the hop cultivation is possible in case of terracing.

Class 3 includes territories where the hop cultivation is impossible.

Having created the maps of land suitability according to climate, relief and soil, a map of integral evaluation of land suitability was compiled. For this purpose the maps of climate and relief were superposed with each other and all the versions of class intersection were grouped into classes to give the united estimation (Table 2).

Class 1– territories with optimal characteristics;

Table 2. Classes of united estimation of climate and relief suitability

Class of climate suitability	Class of relief suitability	Class of integral estimation
1	1	1
1	2a	2a
1	2b	2b
2	1, 2a, 2b	2c
3	1, 2a, 2b, 3	3

class 2a – territories characterized by non-optimal relief indices (slopes 2° – 8°) but optimal according to the climate; a complex of erosion control measures is required to improve these territories;

class 2b – territories that are optimal according to the climate but non-optimal according to relief;

class 2c – territories that are restricted to be suitable and it is impossible to improve them (the heat deficit);

class 3a – territories that are restricted by unfavorable factors; the management practices and anti-erosion tillage can improve them to be evaluated as class 2;

class 3b – territories, where the hop cultivation is impossible but after amelioration they can be regarded as the class of restrictively suitable;

class 3c – territories unsuitable for the hop cultivation. The management practices and their amelioration cannot help to improve them.

class x – territories composing of different soils and only a part of these lands is suitable for the hop cultivation.

When conducting the evaluation of land suitability, it seemed possible to compile a map of environmental risks that can occur in the course of land use for the hop cultivation. This map was based upon the following principle: the more favorable are factors of the environment, the less are efforts to make the lands optimal, the lesser is the environmental risk. On the contrary, the

Table 3. Classes of integral estimation

Class of soil estimation	Integral class of climate and relief estimation	Class of integral estimation
1	1	1
2a	1, 2a	2a
2b	1, 2a, 2b	2b
2c	1, 2a, 2b, 2c	2c
3a	1, 2a, 2b, 2c	3a
3b	1, 2a, 2b, 2c	3b
3c	1, 2a, 2b, 2c, 3	3c
x	1, 2a, 2b, 2c, 3	x

more unfavorable is the factor, the more are efforts to improve the lands, the greater is the environmental risk.

To compile the above map the soil and relief factors have been taken into complete account because the human activity changes them.

The following classes have been grouped to characterize environmental risks:

0 – territories without environmental risks.

a – territories that are subject to a slightly expressed environmental risk; they are characterized by moderate and strong elimination degree of plants but their improvement is connected with management practices and anti-erosion tillage affecting the environment to a lesser extent;

b – territories characterizing by moderate and strong limitation degree, to improve them a complex of ameliorative works is required that can change the environment; hence the lands are subject to a greater environmental risk as compared to the other classes;

c – territories with different limitation degree of plants; the limiting factors cannot be improved or their optimization is associated with strong ecological loads.

The algorithm to group the studied territories into classes is based on a principle of maximal limitation; it is presented in Table 4.

At the last stage of research the potential and relative economic expenditures have been estimated for the hop cultivation as based upon the following principle: the more non-optimal is the factor limiting the hop cultivation, the higher are expenditures to improve the lands.

If the hop-field has several limiting factors, the total economic expenditures are equal to those spent for every factor.

Based upon an expert estimate each class of soil, relief and climate suitability acquired a mark of potential relative economic expenditure (Table 5).

The total estimate of the territory suitability included the sum of marks acquired to the suitability classes according to soil, relief and climate. The maximum of marks is 20, minimum – 0. The higher is the mark, the greater expenditures are required to optimize the territory for the hop cultivation.

Table 4. Classes of environmental risks for the hop cultivation

Class of soil estimation	Class of relief estimation	Class of environmental risks
1 + x	1	0
	2a	a
	2b	b
	3c	c
2a + 3a	1	a
	2a	a
	2b	b
	3c	c
2b + 3b	1	b
	2a	b
	2b	b
	3c	c
2c + 3c	1	c
	2a	c
	2b	c
	3c	c

RESULTS

As a result of the above analysis the maps of lands have been compiled to show the soil, relief and climate suitability of these lands for the hop production in Russia. An integral map of suitability evaluation, the maps of evaluation of environmental risks and the map of estimate of potential relative economic expenditures for the hop production have been also created (Fig.1–6).

The evaluation of soil conditions showed that the hop cultivation is most efficient in small areas of lands (class 1) in Kaliningrad region, in Central European Russia and in Kamchatka. They occupy about 0.88% of the total country's territory. The class 2a embraces restrictively suitable lands occupied by optimal

Table 5. Estimate of suitability classes according to expenditures

Suitability class	Mark of potential relative economic expenditures
Soil classes	
1	0
2a	1
2b	2
2c	3
3a	4
3b	5
3c	6
x	3
Climate classes	
1	0
2	3
3	7
Relief classes	
1	0
2a	1
2b	2
3	7

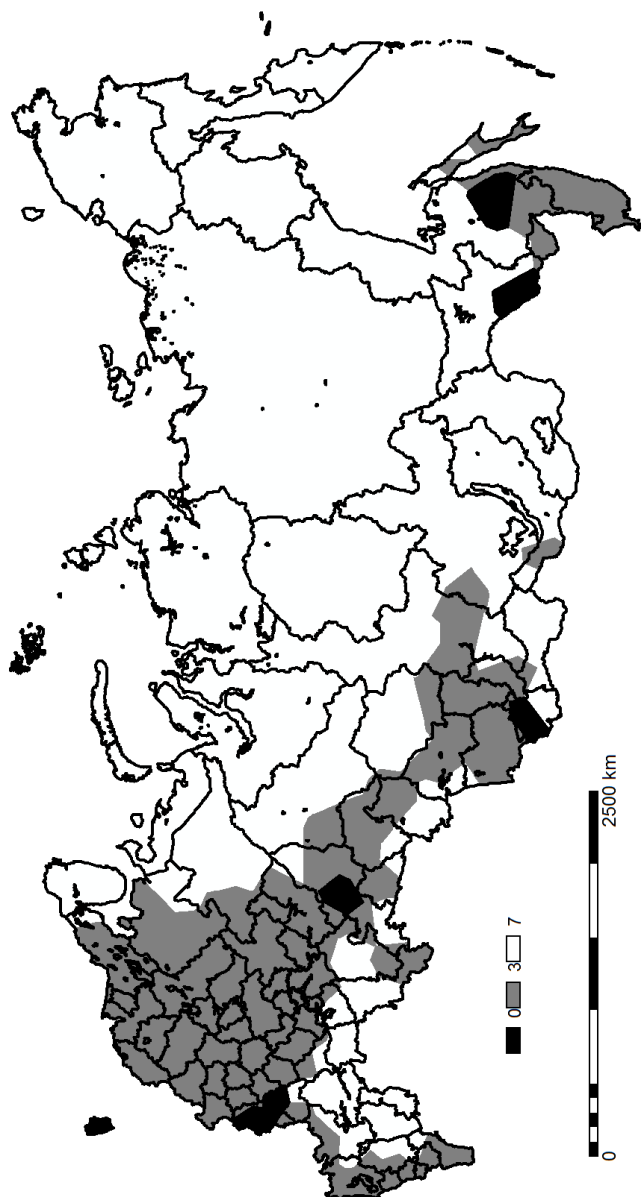


Fig.1. Land suitability for the hop cultivation according to the climate in Russia (7 – unsuitable, 3– restrictively suitable, 0 – suitable without restriction).

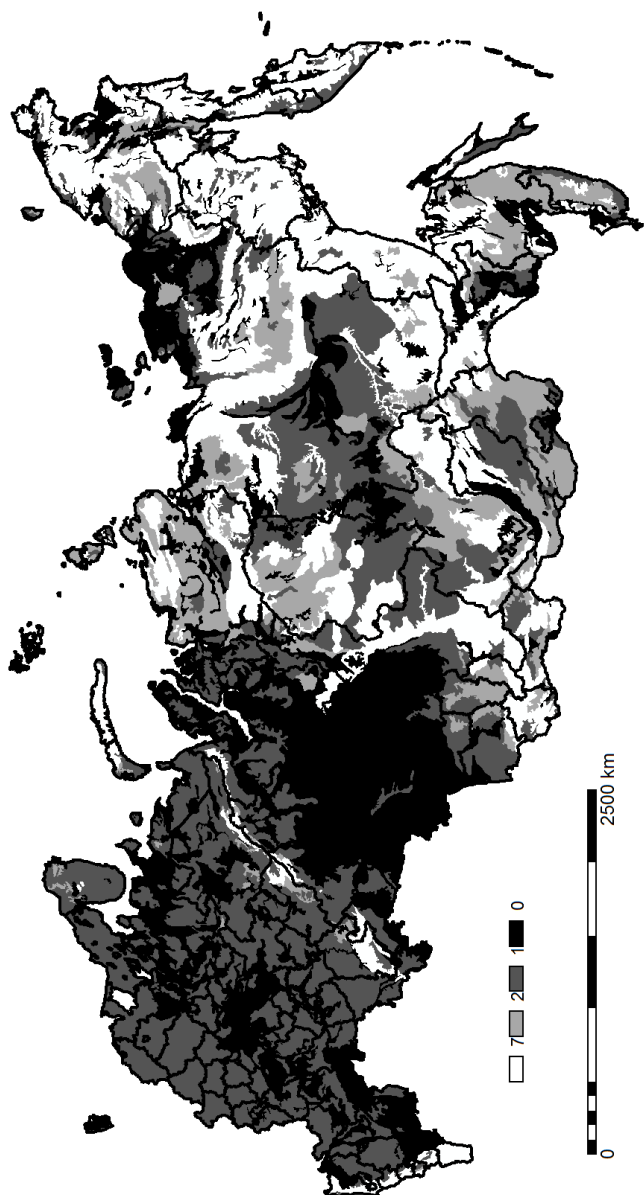


Fig. 2. Land suitability for the hop cultivation according to relief in Russia (0 – suitable without restrictions, 1 – suitable with application of erosion control measures, 2 – suitable with slope terracing and 3 – unsuitable).

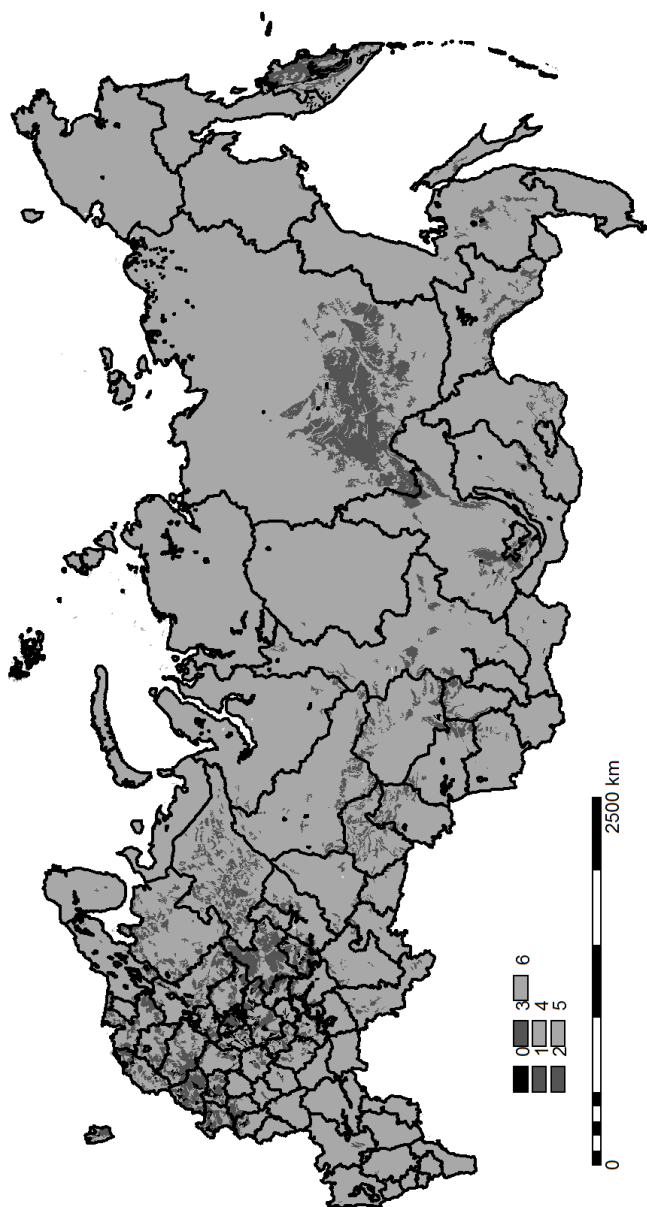


Fig. 3. Land suitability for the hop cultivation according to soil conditions in Russia (0 – suitable without restrictions, 1–3 – restrictively suitable, 4–6 – unsuitable).

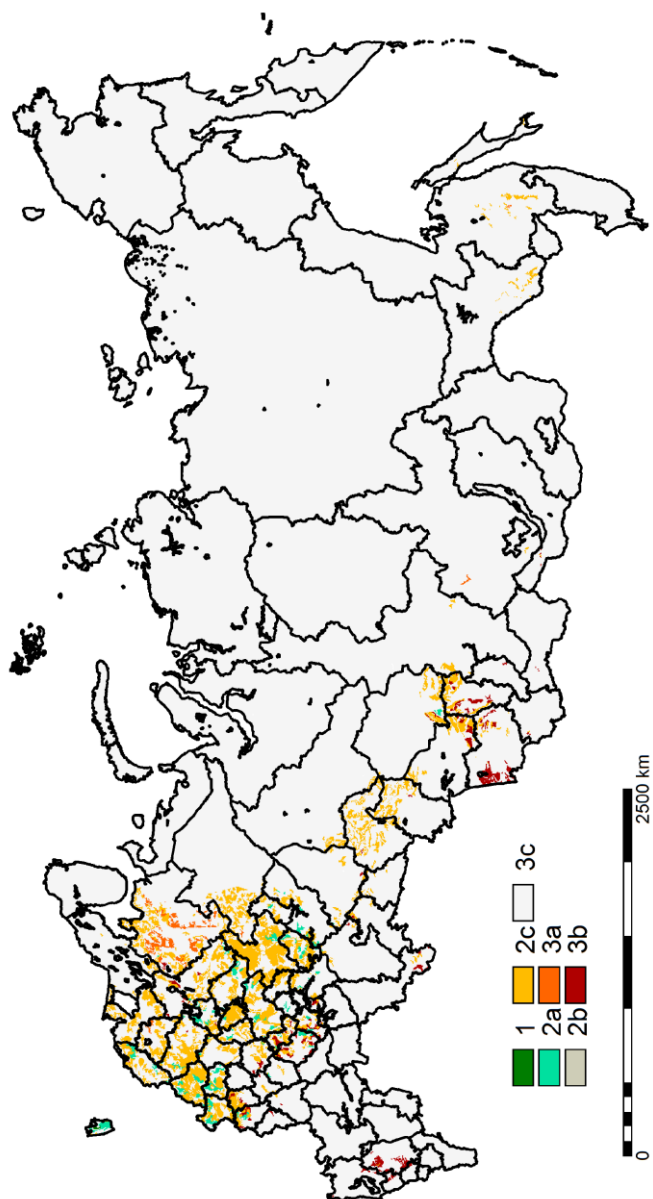


Fig. 4. Integral evaluation – land suitability for the hop production in Russia (conventional signs are given in pp. 26).

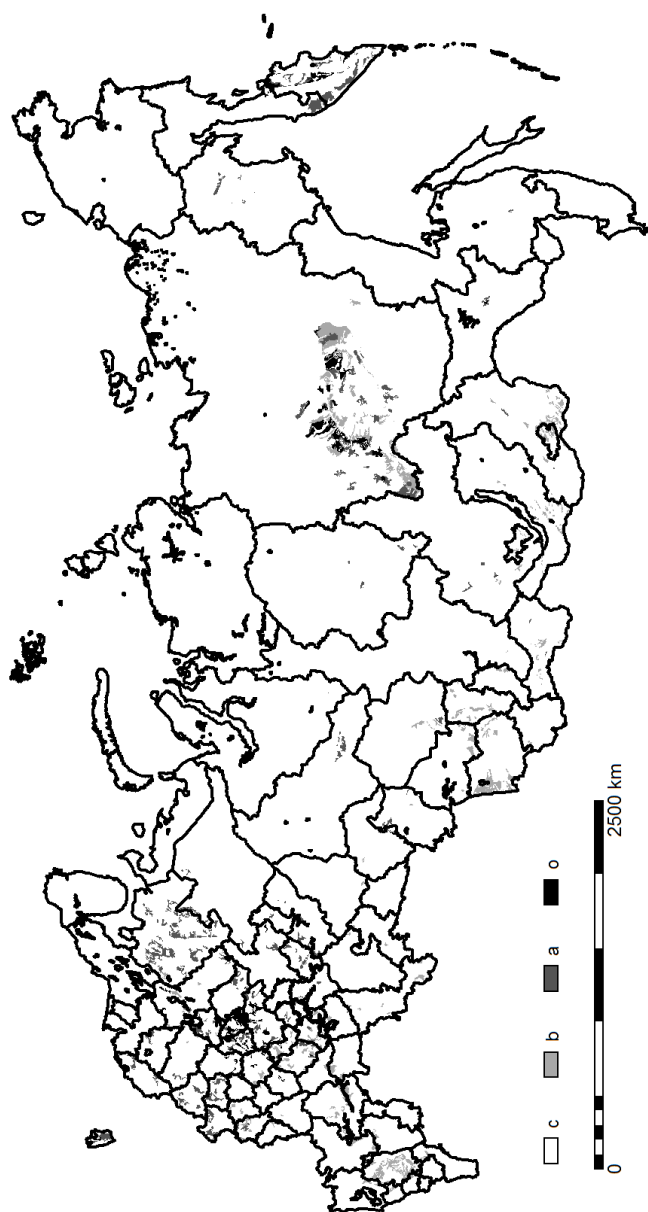


Fig. 5. Potential environmental risks for lands used for the hop cultivation in Russia (conventional signs are given in pp. e25).

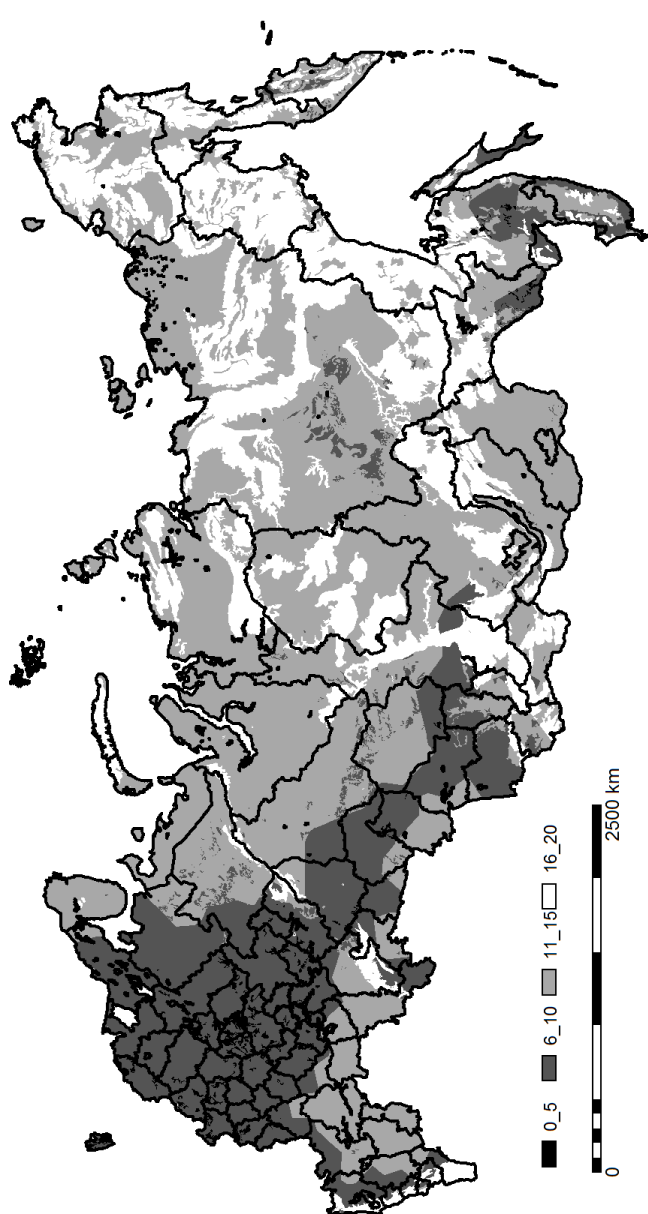


Fig. 6. The map of estimation of potential economic expenditures for the hop cultivation in Russia (the higher is the number, the more significant are expenditures).

soils. Their area makes up 0.29% or 4.94 mln ha. The lands included into class 2b are estimated as 0.01%. The territory of class 2c occupies 7.37% of the total area to be located as small contours at the entire territory of European Russia, in the Ural, in southern part of Siberia, in Altai, Yakutia, Primorie and Kamchatka. The territory in classes 3a and 3b is located as small contours in the north of European Russia, in the piedmont of Caucasus, in Altai, in the southern part of Siberia, Yakutia and Kamchatka, thus occupying 0.5 and 1/30% respectively. The territory in class 3c is estimated as 88.79% of the total area in Russia. These soils occupy the north of the country, Ural, Siberia, Chukotka and the major part of the Far East. In the south they are located in the piedmont of Caucasus and within the steppe zone. Small contours of unsuitable lands are distributed in European Russia. The soil contours evaluated in a complex way (class x) occupy 0.67% of the total country's territory.

The lands as optimal in the climate for the hop cultivation (class 1) make up 2.02%. To them we relate the lands of Kaliningrad region in the west, Kursk and Voronezh regions in the south, Altai Territory in the south-east and small area in Khabarovsk and Amur regions in the east.

The areas, where one or some factors restrict the hop cultivation, occupy 23.69% (class 2). They are located as a wide zone stretching from the west of Russia to Altai. Such small areas are met in the Far East. The climatic factors restrict the hop growth and development on the area occupying 74.29% of the total country's territory, including the plain areas in European Russia, in the piedmont of Caucasus, Pre-Caspian lowland, in the major part of Western Siberia, Yakutia, Far East and Chukotka. The restrictively suitable lands in class 2a are located along the western frontier of the country, in European Russia, Stavropol and Krasnoyarsk regions, Yakutia. Their area makes up 32.78% of the total territory of Russia. The lands included into class 2b oc-

cupy 12.25% being located in the Ural, in Eastern Siberia, Mountain Altai, Tyan-Shan and Far East.

The areas unsuitable according to relief (class 3) are estimated as 26.58% in the Ural, Middle Siberia, Mountain Altai and in mountains of Eastern Siberia.

The map of integral evaluation of land suitability in the Russian Federation is given in Fig. 4.

The territory optimal in all the parameters for the hop cultivation (class 1) occupies 0.01% only in Kaliningrad region. The areas of land suitability (class 2a) account for 0.40% of the total country's territory. They are predominantly located in central regions of European Russia. The areas in class 2b are locally met in European Russia and estimated as 0.01%. The regions in class 2c occupy 3.95% being located as a wide zone from the western frontier of Russia to Altai to be narrow in the east.

The lands in class 3a are situated in the piedmont of Caucasus, in the north of European Russia (Arkhangelsk region) and Altai occupying 0.20% of the total country's territory. The lands in class 3b are also confined to these areas and occupy 0.47% of the total territory in the country. The lands of class 3c are located in the major part of the country and estimated as 94.97%.

The results of integral evaluation of land suitability in different country's regions are demonstrated in Table 6.

Fig. 6 demonstrates a map of estimation of potential economic expenditures for the hop cultivation. According to this map the regions requiring high and middle expenditures are dominant at the territory of Russia. The areas estimated by 0 mark occupy less than 0.01% of the country's territory.

All the optimal lands for hop production are located in Kaliningrad region, where they occupy about 9% of this region. The restrictively suitable lands are prevailed in Bryansk, Ivanovo, Kirov, Smolensk regions, in the Republic of Udmurtia. About 40–50% of such lands are distributed in Kaliningrad, Kaluga, Nizhni Novgorod and Tver' regions.

Table 6. Results of integral evaluation of land suitability for the hop cultivation in regions of the Russian Federation

Region	Class and subclass of suitability, % from the area in region						
	optimal	restrictively suitable			unsuitable		
	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Aginskiy, Buryatia	—	—	—	—	—	—	100.00
Altai Territory	—	—	—	2.99	—	10.39	86.62
Amur region	—	—	—	1.53	—	—	98.47
Arkhangelsk region	—	0.03	—	15.39	9.76	0.25	74.57
Astrakhan region	—	—	—	—	—	—	100
Belgorod region	—	—	—	0.19	—	1.84	97.97
Bryansk region	—	16.62	—	44.11	—	—	39.27
Vladimir region	—	3.27	—	32.16	—	—	64.57
Volgograd region	—	—	—	—	—	—	100.00
Vologda region	—	1.61	—	24.66	—	2.72	71.01
Voronezh region	—	—	—	1.01	—	0.24	98.75
Mountain Altai	—	—	—	0.11	—	0.27	99.62
Jewish autonomous region	—	—	—	—	—	—	100.00
Ekaterinburg region	—	0.08	—	3.64	—	0.21	96.07
Ivanovo region	—	3.36	—	67.47	—	—	29.17
Irkutsk region	—	—	—	0.06	0.13	—	99.81
Kaliningrad region	9.22	35.00	—	7.79	—	—	47.95
Kaluga region	—	17.06	—	32.36	—	—	50.58
Kamchatka region	—	—	—	—	—	—	100.00
Kemerovo region	—	—	—	17.65	—	7.51	74.84
Kirov region	—	1.99	—	60.33	—	0.04	37.64
Komi-Permyatskiy autonomous region	—	1.52	—	16.99	—	—	81.49
Koryakskiy autonomous region	—	—	—	—	—	—	100.00
Kostroma region	—	6.70	—	29.98	—	—	63.32
Krasnodar region	—	—	—	—	—	2.51	97.49
Krasnoyarsk region	—	—	—	0.68	—	—	99.32
Samara region	—	—	—	0.44	—	0.73	98.83
Kurgan region	—	—	—	3.48	—	—	96.52
Kursk region	—	5.23	—	18.11	—	10.19	66.47
Leningrad region	—	0.20	—	30.74	0.41	0.03	68.62
Lipetsk region	—	0.11	—	6.85	—	0.83	92.21
Magadan region	—	—	—	—	—	—	100.00

Region	Class and subclass of suitability, % from the area in region						
	optimal	restrictively suitable			unsuitable		
	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Moscow region	—	1.28	—	21.42	—	—	77.30
Murmansk region	—	—	—	—	—	—	100.00
Nenets autonomous territory	—	—	—	—	—	—	100.00
Nizhegorodskiy region	—	6.82	—	37.79	—	0.27	55.12
Novgorod region	—	0.05	—	29.01	3.69	—	67.25
Novosibirsk region	—	—	—	9.99	—	2.89	87.12
Omsk region	—	—	—	12.55	—	0.20	87.25
Orenburg region	—	—	—	1.12	—	2.39	96.49
Orlov region	—	0.41	—	36.73	—	6.02	56.84
Penza region	—	6.02	—	14.00	—	14.24	65.74
Perm' region	—	3.77	—	8.79	—	—	87.44
Primorskiy Territory	—	—	—	—	—	—	100.00
Pskov region	—	7.29	—	30.50	—	0.19	62.02
Republic of Adygea	—	—	—	—	—	—	100.00
Republic of Bashkiria	—	0.05	—	2.20	—	0.19	97.56
Republic of Buryatia	—	—	—	0.04	—	0.09	99.87
Republic of Dagestan	—	—	—	—	—	0.20	99.80
Republic of Kabardino-Balkaria	—	—	—	—	—	9.39	90.61
Republic of Kalmykia	—	—	—	—	—	—	100.00
Republic of Karachaevo-Cherkessia	—	—	—	—	—	12.06	87.94
Republic of Karelia	—	—	—	3.69	—	—	96.31
Republic of Komi	—	—	—	6.86	0.22	—	92.92
Republic of Mariy-El	—	—	—	31.90	—	—	68.10
Republic of Mordovia	—	3.73	—	31.48	—	14.45	50.34
Republic of Sakha-Yakutia	—	—	—	—	—	—	100.00
Republic of Northern Osetia	—	—	—	—	—	—	100.00
Republic of Tatarstan	—	1.74	—	12.24	—	—	86.02
Republic of Tuva	—	—	—	—	—	0.09	99.01
Republic of Udmurtia	—	8.58	—	43.13	—	—	48.29
Republic of Khakasia	—	—	—	0.16	—	0.62	99.22
Republic of Chuvashia	—	5.61	—	0.68	—	—	93.71
Rostov region	—	—	—	—	—	—	100.00
Ryazan' region	—	1.40	—	17.15	—	4.38	77.07
Saratov region	—	0.05	—	0.07	—	0.69	99.19

Region	Class and subclass of suitability, % from the area in region						
	optimal	restrictively suitable			unsuitable		
	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
Sakhalin region	—	—	—	1.71	—	—	98.29
Smolensk region	—	10.91	—	60.66	—	—	28.43
Stavropol Territory	—	—	—	0.38	—	14.29	85.33
Taimyr autonomous territory.	—	—	—	—	—	—	100.00
Tambov region	—	1.68	—	3.13	—	—	95.19
Tver' region	—	2.33	—	40.12	—	0.51	57.04
Tomsk region	—	0.39	—	4.60	—	0.31	94.70
Tula region	—	0.39	—	3.25	—	—	96.36
Tyumen' region	—	—	—	18.72	—	0.17	81.11
Ulianovsk region	—	3.56	—	16.07	—	11.74	68.63
Ust-Orda	—	—	—	—	—	—	100.00
Khabarovsk territory	—	—	—	0.93	0.05	—	99.02
Khanty-Mansitskiy autonomous territory.	—	—	—	1.38	—	—	98.62
Chelyabinsk region	—	—	—	3.11	—	0.40	96.49
Chechnya	—	—	—	—	—	0.93	99.07
Chita region	—	—	—	—	—	—	100.00
Chukotskiy autonomous territory	—	—	—	—	—	—	100.00
Evenkiski autonomous territory.	—	—	—	—	—	—	100.00
Yamalo-Nenetskiy autonomous territory	—	—	—	—	—	—	100.00
Yaroslavl' region	—	14.32	—	24.69	—	0.77	60.22

Fig. 5 shows a map of evaluation of potential environmental risks for the hop cultivation. The lands of class 0 (absence of environmental risks) occupy 0.52% or 8.72 mln hectares in Kaliningrad region, in central regions of European Russia, in southern and middle Yakutia as well as in Kamchatka. The regions with small environmental risks (class a) are estimated as 1.22% and located in Kaliningrad region, in western, northern and central regions of European Russia, in Yakutia and Far East.

The areas characterized by slightly expressed potential environmental risks (class b) occupy 1.36% being located in the piedmont of Caucasus, in southern regions of European Russia, Altai, in southern and central regions of Yakutia. The lands with strongly expressed environmental risks (class c) make up 96.89% of the total territory.

One should notice that the small expenditures are required for the hop production at the territory of European Russia, in the south of Western Siberia and Far East, in warm flat forms of relief with inclination to 2°. Considerable expenditures to grow the hop are required at the territory of Southern Russia, in the north of European Russia and in the middle part of Eastern Siberia. The mountain regions of Ural, Altai, Eastern Siberia and Far East require significant financial investments for the hop cultivation.

CONCLUSION

The data obtained in the course of the suitability evaluation of lands for the hop cultivation well agree with factual regions of the hop production in the country. Simultaneously, the regions have been identified which are rather favorable but not used for this purpose.

The evaluation of soil conditions showed that optimal for the hop cultivation are small areas in Central European Russia, in Kaliningrad region and in Kamchatka, occupying 0.88% of the total country's territory. Unsuitable soils occupy 90% and only about 2% of such lands can be improved to the level of restrictively suitable lands.

The territory as optimal in the climate is estimated as 2.02%. The climatic factors restrict the hop growth and development at the territory embracing 74.29% of the total area in the country. The class of optimal suitability according to relief embraces 28.39%. The areas that are not optimal in relief occupy 26.58%. The territory optimal in all the parameters for the hop cultivation makes up only 0.01%. Dominant are the lands abso-

lutely unsuitable for the hop production (more than 95% of the country's territory).

All the optimal lands for the hop production are located in Kaliningrad region; what is evidenced by expansion of foreign technologies in barley brewing and prevalence of great holdings there. The restrictively suitable lands are dominant in Bryansk, Ivanovo, Kirov, Smolensk regions, in the Republic of Udmurtia. Such lands accounting for about 40–50% are mainly located in Kaliningrad, Kaluga, Nizhnyi Novgorod and Tver' regions.

To cultivate the hop, the major part of lands has high environmental risks, the latter being absent only at the territory of 0.52% and located in Kaliningrad region, in central part of European Russia, in southern and middle Yakutia as well as in Kamchatka.

The hop cultivation requires small economic expenditures at the territory of European Russia, in the south of Western Siberia and Far East. The greatest investments are required for the hop production in mountain regions of the country: in Ural, Altai, Eastern Siberia and Far East. The approaches used for analyzing the resource potential of lands can find an application at a more detail level for purposes of planning and creation of hop-fields.

REFERENCES

1. *Александров Н.А., Крылова М.И., Рупошев А.Р.* Хмель. М.: Росагропромиздат, 1991.
2. *Виноградов В.Н.* Хмелеводство. Горький: Горьк. СХИ, 1977.
3. *Годованый А.А.* Интенсификация хмелеводства и программирование урожаяев. Киев: Урожай, 1990.
4. Государственная почвенно-географическая база данных России / Отв. ред. А.Л. Иванов. М., 2014. (в печати)
5. *Долгилевич М.И., Кардашов А.Т.* Экология хмельников. Киев: Изд-во УСХА, 1990.
6. *Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Ресурсный потенциал земель Краснодарского края для возделывания плодовых культур. Краснодар, 2005.

7. Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Овечкин С.В., Смирнова Л.А., Желнакова Л.И., Каторгин И.Ю., Антонов С.А., Андреев Д.Ю. Анализ ресурсного потенциала земель Ставропольского края для возделывания плодовых культур. М., 2007.
8. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Качество почв России для сельскохозяйственного использования // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 6. С. 41–45.
9. Карманов И.И., Булгаков Д.С., Шишконокова Е.А. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 65–83.
10. Либачский Е.П. Хмелеводство. М.: Колос, 1993.
11. Нефтялиев М.Д., Загиров Н.Г., Савин И.Ю. Агроэкологическое моделирование оптимального размещения плодового, овощного и виноградарства в Дагестане // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 5. С. 9–11.
12. Практикум по хмелеводу / Под ред. Н.А. Александрова. М.: Агропромиздат, 1989.
13. Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий. Дис. ... д. с.-х. н. М., 2004.
14. Савин И.Ю., Кирьянова Е.Ю., Трунов Ю.В., Цуканова Е.М., Соловьев А.В. Геоинформационный анализ рельефа Тамбовской области // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 6. С. 36.
15. Савин И.Ю., Федорова А.С. Геоинформационное моделирование структуры землепользования отдельного хозяйства // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 2. С. 25–29.
16. Сластенников В.В. Биология и агротехника хмеля. М.: Россельхозиздат, 1971.
17. Savin I. Climatic Stations // Land Resources of Russia / Stolbovoi V., McCallum I. International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria, 2002. (CD-ROM).
18. Stolbovoi V., McCallum I. Land Resources of Russia. International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria, 2002. (CD-ROM).