Научная статья
УДК 581.95:528.9

БОТАНИКО-РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА И ГИС-МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ ЗАГОТОВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Остах Оксана Сергеевна, кандидат технических наук, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Россия, Москва, oksana.ostakh@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности сочетания популяционного анализа и геоинформационного моделирования для планирования устойчивой заготовки лекарственного растительного сырья. Объектом исследования выступает Sanguisorba officinalis L. На основе материалов трёхлетних наблюдений сопоставлены особенности онтогенетической структуры ценопопуляций в различных местообитаниях. Для анализа потенциальных последствий заготовки использованы сценарные оценки изменения численности популяций в зависимости от интенсивности изъятия зрелых растений. Показано, что повышение доли изъятия может сопровождаться снижением расчётного популяционного множителя λ. Предложены направления территориального зонирования и ограничения хозяйственной нагрузки с учётом демографических характеристик вида. Установлено, что применение долгосрочных квот и периодов ротации требует дополнительной проверки параметров стадийных переходов и межгодовой изменчивости.

Ключевые слова: Sanguisorba officinalis; ценопопуляции; ботанико-ресурсная оценка; онтогенетическая структура; матричное моделирование; устойчивая заготовка.

Original article

BOTANICAL RESOURCE ASSESSMENT AND GIS MODELING OF SUSTAINABLE PROCUREMENT OF MEDICINAL PLANTS

Ostakh Oksana Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia, oksana.ostakh@mail.ru

Abstract. This article examines the potential of combining population analysis and geoinformation modeling for planning the sustainable procurement of medicinal plant materials. The study focuses on Sanguisorba officinalis L. Three-year observations are used to compare the ontogenetic structure of cenopopulations in various habitats. Scenario estimates of population size changes depending on the intensity of mature plant removal are used to analyze the potential consequences of harvesting. It is shown that an increase in the removal rate may be accompanied by a decrease in the estimated population factor λ. Suggested approaches for territorial zoning and restrictions on economic pressure are considered, taking into account the demographic characteristics of the species. It is established that the use of long-term quotas and rotation periods requires additional verification of the parameters of stage transitions and interannual variability.

Keywords: Sanguisorba officinalis; plant populations; botanical resource assessment; ontogenetic structure; matrix modeling; sustainable harvesting.

Актуальность и степень разработанности проблемы исследования. Современная хозяйственная деятельность все активнее использует природные ресурсы, что отражается на состоянии дикорастущей флоры. Переход от локального собирательства к масштабному товарному обороту недревесных лесных ресурсов и лекарственных трав создает колоссальную антропогенную нагрузку на естественные фитоценозы. Коммерческая ценность отдельных видов, обладающих уникальными биохимическими свойствами, провоцирует их

браконьерскую добычу и систематическое снижение численности популяций [1]. В таких условиях традиционные подходы к природопользованию, основанные преимущественно на представлениях о естественной возобновляемости ресурсов, становятся недостаточными, а лимиты их эксплуатации требуют строгого научного обоснования [2].

Изъятие растительной биомассы из естественных местообитаний далеко не всегда остается нейтральным для экосистем. Степень уязвимости таксона определяется его биологическими особенностями и тем, какая морфологическая часть растения становится объектом заготовки [3]. Если сбор листьев или плодов при грамотном подходе может компенсироваться за счет внутренних резервов организма, то извлечение подземных органов, камбиального слоя или апикальных меристем фактически означает гибель особи [4]. Особую опасность представляет заготовка медленно растущих многолетних видов и видов с узкой экологической амплитудой, ценопопуляции которых не способны компенсировать изъятие за счет естественного восстановления [5].

Для предотвращения необратимых последствий необходим комплексный ботанико-ресурсный анализ. Поверхностная инвентаризация видового разнообразия уступает место детальным популяционным исследованиям, охватывающим онтогенетическую структуру, репродуктивный потенциал и пространственное распределение растений. Критически важно оценивать не только текущий запас фитомассы, но и способность сообществ к самовосстановлению в конкретных почвенно-климатических условиях [6]. Подобный анализ позволяет выявить таксоны, находящиеся на грани локального исчезновения, и обосновать биологически допустимые нормативы их заготовки, опираясь на демографические модели и данные многолетних наблюдений за динамикой численности [7].

Пространственная неоднородность растительного покрова обусловливает необходимость использования геоинформационных технологий при ресурсном планировании. Локальные популяции часто приурочены к специфическим

биотопам или образуют фрагментарные ареалы, что делает невозможным применение унифицированных нормативов заготовки на обширных территориях. Картографирование мест произрастания, наложение данных о рельефе, гидрологии и антропогенной доступности урочищ позволяет формировать дифференцированную сеть хозяйственных участков [8], [9]. Такой ландшафтный подход обеспечивает зонирование территорий с выделением зон интенсивной эксплуатации, буферных участков и абсолютных заповедников, где поддерживается естественный генофонд и сохраняются ключевые экологические функции фитоценозов [10].

Синтез фундаментальных ботанических знаний о жизненных стратегиях видов и современных методов пространственного моделирования открывает новые перспективы для рационального природопользования. Комплексная оценка, учитывающая биологические особенности сырьевого вида и географические условия его произрастания, служит научной основой для разработки адаптивных стратегий заготовки [11], [12]. Такой междисциплинарный подход позволяет сочетать долгосрочное сохранение биоразнообразия с удовлетворением потребностей общества в ценном растительном сырье.

Переход от локального сбора дикорастущих растений к их коммерческой эксплуатации выявил противоречие между экономическими потребностями и биологическими ограничениями видов. Долгое время изъятие недревесных лесных ресурсов, в частности подземных органов растений, рассматривалось как процесс, причиняющий минимальный экологический ущерб. Однако современные данные убедительно доказывают, что заготовка корневищ и корней сопряжена с высокой летальностью особей и критическим снижением репродуктивного потенциала ценопопуляций. Уязвимость вида напрямую диктуется его жизненной формой и темпами онтогенетического развития: медленно растущие долголетники с узкой экологической амплитудой не способны поддерживать баланс между темпами изъятия и скоростью

восстановления биомассы [13], [14].

Несмотря на наличие обширного массива данных о влиянии заготовки на отдельные виды, существующие подходы к нормированию часто носят фрагментарный характер. Большинство исследований ограничиваются оценкой текущих запасов фитомассы на локальных пробных площадях без учета пространственной неоднородности ландшафта и долгосрочной динамики возрастной структуры популяций [15-17]. Отсутствие интеграции полевых демографических данных с методами геоинформационного моделирования не позволяет выявлять участки, на которых начинается истощение ресурсов, и прогнозировать смещение заготовки в труднодоступные районы [18]. В связи с этим разработка комплексного методического аппарата, объединяющего многолетний онтогенетический мониторинг и пространственное моделирование пригодности угодий, остается актуальной задачей ботанико-ресурсного направления.

Методология исследования. Объектом исследования послужила ценопопуляция Sanguisorba officinalis L. (кровохлёбки лекарственной) - многолетнего травянистого растения, заготавливаемого в промышленных объемах для нужд фармацевтической промышленности (используемый орган - корневища с корнями). Исследования проводились в лесостепной зоне Алтайского края (Троицкий и Первомайский районы) в течение трех вегетационных сезонов (2020–2022 гг.), что позволило учесть межгодовую климатическую изменчивость при оценке семенной продуктивности и вегетативной подвижности.

Полевые работы включали закладку постоянных пробных площадей (1×1 м) методом трансект, пересекающих различные варианты местообитаний вида (опушки березовых колков, остепненные луга, залежи). В рамках геоботанических описаний фиксировали проективное покрытие, плотность особей, долю генеративных и вегетативных побегов. Для оценки регенерационного потенциала учитывали число парциальных кустов и

придаточных почек возобновления на единицу площади. Возрастную структуру популяций анализировали по общепринятой в геоботанике шкале, разделяя особи на виргинильные, имматурные, ювенильные, сенильные и старые генеративные стадии. Семенную продуктивность определяли путем подсчета фертильных цветков и жизеспособных семян в соцветиях на учетных площадках.

Пространственный анализ и ГИС-моделирование базировались на обработке мультиспектральных снимков Sentinel-2 (разрешение 10 м) за вегетационный период. Для построения моделей экологической ниши и оценки пригодности угодий использовали данные о рельефе (SRTM), почвенном покрове и гидрологической сети. Интеграция биологических параметров с факторами антропогенной доступности (удаленность от дорожной сети, населенных пунктов) позволила рассчитать карты допустимой нагрузки и зонировать территорию по принципу ротации участков.

Для оценки последствий изъятия лекарственного растительного сырья рассматривается стадийно-структурированная модель популяционной динамики Sanguisorba officinalis L. Численность растений на следующем временном шаге представляется соотношением $n(t + 1) = A(h)n(t)$, где $n(t)$ — вектор численностей онтогенетических групп, $A(h)$ — матрица переходов с учётом интенсивности изъятия h. Элементы матрицы характеризуют выживание, переход между стадиями и репродуктивный вклад взрослых растений. Популяционный множитель λ определяется доминирующим собственным значением матрицы. Условие $\lambda \geq 1$ используется как критерий отсутствия прогнозируемого сокращения численности в стационарной модельной постановке.

Результаты исследования. Трехлетний мониторинг выявил существенную дифференциацию онтогенетической структуры ценопопуляций S. officinalis в зависимости от степени антропогенной нагрузки и типа местообитания. В ненарушенных или слабо нарушенных фитоценозах, расположенных более чем в 5 км от дорог, онтогенетический спектр характеризовался преобладанием генеративных особей и высоким индексом

восстановления (Таблица 1).

Таблица 1 - Онтогенетическая структура ценопопуляций Sanguisorba officinalis L. в различных условиях местообитания (средние данные за 2020-2022 гг., %)

Стадия онтогенеза	Ненарушенные луга (контроль)	Опушечные комплексы (умеренный выпас)	Залежи и обочины (высокая доступность)
Виргинильные (v)	12,4	14,1	8,2
Имматурные (im)	18,5	16,0	11,5
Ювенильные (j)	15,2	13,5	9,0
Первые генеративные (g1)	22,1	24,5	18,4
Зрелые генеративные (g2)	19,8	18,2	25,6
Старые генеративные (g3)	8,5	9,4	16,8
Субсенильные (ss)	2,5	3,1	7,5
Сенильные (s)	1,0	1,2	3,0
Индекс восстановления (Δ)	0,89	0,82	0,54
Индекс старения (ω)	0,12	0,15	0,38

Источник: разработано автором.

Данные свидетельствуют о том, что в зонах с высокой антропогенной нагрузкой (залежи, обочины) наблюдается выраженное правостороннее смещение онтогенетического спектра. В рассматриваемых местообитаниях выявлены различия онтогенетической структуры ценопопуляций Sanguisorba officinalis. Снижение относительной доли ювенильных и имматурных растений на территориях с повышенной антропогенной доступностью может характеризовать изменение процессов популяционного возобновления [19].

Пространственное моделирование позволило выделить три категории угодий. К первой категории (зоны строгой охраны) были отнесены участки с высокой сомкнутостью древесного полога и низкой увлажненностью почв, где плотность S. officinalis не превышает 1-2 особи на 10 м². Вторая категория (зоны ограниченного использования) охватывает остепненные луга с оптимальными показателями проективного покрытия (15-25%). Третья категория (зоны лимитированной заготовки) включает нарушенные местообитания, где вид проявляет свойства рудерального растения, однако сырье вблизи транспортных

магистралей нередко загрязнено тяжелыми металлами (Рисунок 1).

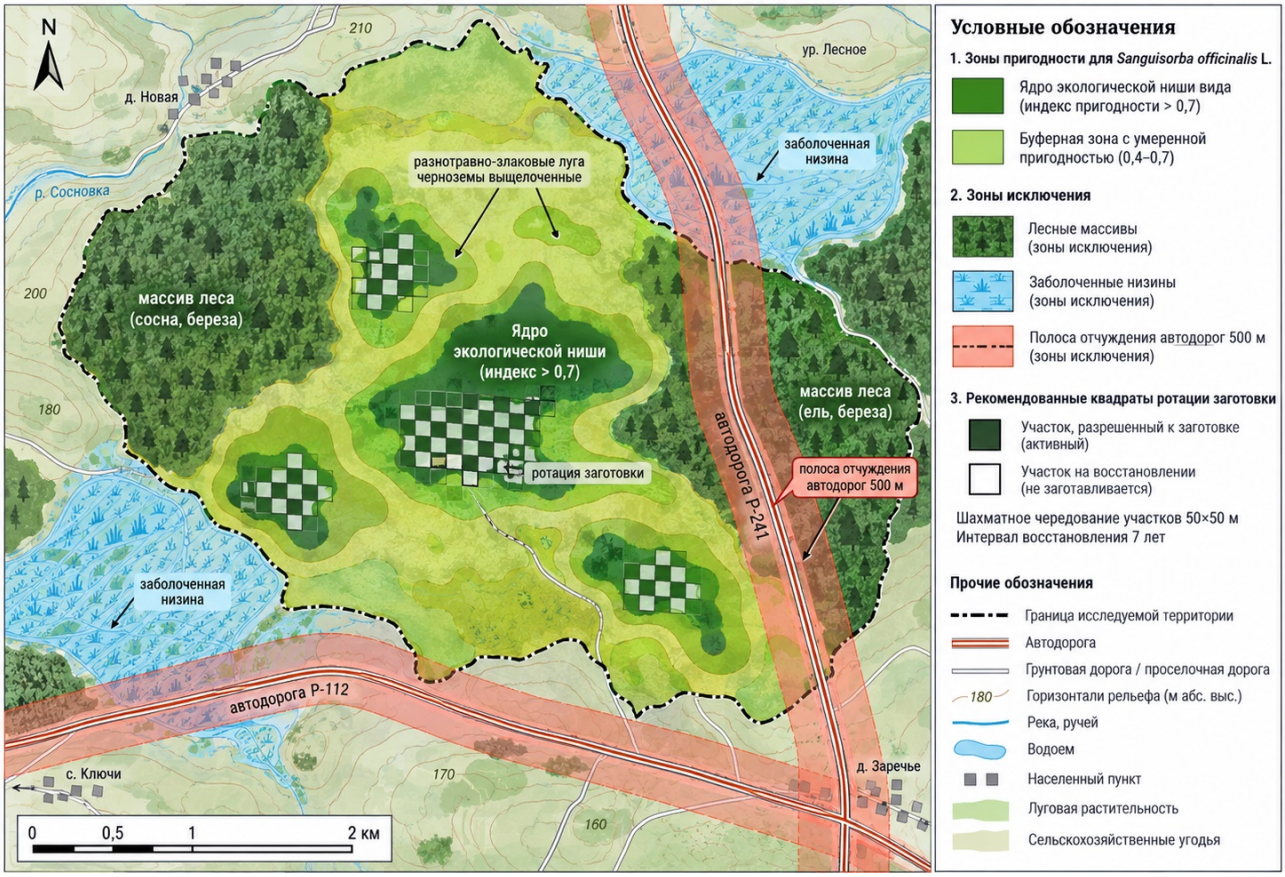


Рисунок 1 - Карта-схема зонирования территории заготовки Sanguisorba officinalis L. (источник: разработано автором)

Совмещение данных о транспортной доступности и биологической продуктивности показывает, что истощение ресурсов прежде всего затрагивает наиболее доступные участки. На наиболее продуктивных лугах, расположенных в пределах 2 км от дорожной сети, уже наблюдаются признаки многолетней несанкционированной заготовки, что подтверждается преобладанием старых генеративных и сенильных особей.

Для сопоставления возможных режимов заготовки используются сценарные оценки финитной скорости изменения численности популяции λ. Контрольный вариант без изъятия характеризуется значением λ = 1,04; сценарий изъятия 40 % зрелых корневищ — λ = 0,86; ограниченное изъятие 20 % — λ = 0,95. Значения выше единицы соответствуют расчётному росту, ниже единицы — сокращению популяции при сохранении принятых параметров. Таким образом, рассмотренные сценарии указывают на чувствительность модельной

динамики к интенсивности изъятия взрослых растений.

Таблица 2 - Валидация допустимого изъятия биомассы Sanguisorba officinalis L. на основе матричного моделирования

Сценарий заготовки	Доля изъятия зрелых корневищ (%)	Расчетное значение λ	Статус популяции	Рекомендуемый срок ротации (лет)
Контроль (без изъятия)	0	1,04	Стабильный рост	-
Сценарий А (текущая практика)	40	0,86	Деградация	-
Сценарий Б (лимитированная)	20	0,95	Медленное снижение	10
Сценарий В (оптимальная)	12	1,01	Устойчивое состояние	7
Сценарий Г (щадящая)	5	1,03	Стабильный рост	4

Источник: разработано автором.

Сценарное моделирование указывает на снижение прогнозируемого множителя роста популяции при увеличении доли изъятия зрелых корневищ. В представленном наборе условий изъятие 40 % сопровождается значением $\lambda = 0,86$, а 20 % — $\lambda = 0,95$. Следовательно, оба сценария характеризуют потенциальное сокращение численности при неизменных параметрах модели.

Обсуждение результатов исследования. Полученные результаты согласуются с концепцией уязвимости видов, заготавливаемых ради подземных органов. Извлечение корневищ, в отличие от сбора листьев или плодов, носит летальный характер и разрушает клональную структуру парциальных кустов. Трехлетняя динамика онтогенетических спектров показывает последовательность взаимосвязанных изменений: снижение плотности цветущих особей сопровождается уменьшением семенной продуктивности, а нарушение почвенного покрова при выкапывании корней отрицательно влияет на микробиоценоз и семенной банк, необходимые для генеративного возобновления.

Пространственный анализ подтверждает гипотезу о формировании зон истощения ресурсов. Доступность угодий выступает лимитирующим фактором заготовки: по мере истощения ресурсов вблизи транспортных сетей,

заготовители смещаются в более удаленные и экологически уязвимые биотопы. ГИС-моделирование позволяет заранее выявлять наиболее значимые участки местообитаний вида и исключать их из хозяйственного использования, формируя охраняемые участки дикой флоры.

Оценка допустимого объема изъятия с помощью матричных моделей показывает необходимость отказа от нормирования заготовки исключительно по принципу доли от общей биомассы. Биологическая устойчивость обеспечивается только при сохранении репродуктивного ядра популяции. Эластичность модели S. officinalis указывает на то, что популяция чувствительна именно к потере взрослых особей, тогда как изъятие части виргинильных и ювенильных растений (при условии сохранения материнского корневища) переносится видом относительно легко за счет высокой вегетативной подвижности.

Для разработки эффективной системы мониторинга мы предлагаем использовать не только учет сырьевой массы, но и биоиндикационные показатели чрезмерной эксплуатации. Ключевым индикатором стресса ценопопуляции служит соотношение числа генеративных побегов к общему количеству парциальных кустов. Падение этого индекса ниже 0,4 на фоне увеличения доли сенильных особей служит ранним сигналом, требующим немедленного введения моратория на заготовку в данном квадрате.

Выводы. Переход к регламентированной эксплуатации дикорастущей флоры требует признания фундаментального биологического ограничения: способность фитоценозов к самовосстановлению жестко лимитирована их жизненными стратегиями. Изъятие надземных органов, как правило, оставляет растению резервы для последующей вегетации, тогда как добыча подземных структур или камбиального слоя зачастую носит летальный характер. Именно морфологическая специфика заготавливаемого сырья диктует необходимость строго дифференцированного подхода к нормированию. Устойчивость ценопопуляции напрямую зависит от того, насколько объемы изымаемой биомассы соотносятся с темпами онтогенетического развития и репродуктивным

потенциалом конкретного вида в заданных почвенно-климатических условиях.

Пространственная неоднородность растительного покрова делает невозможным применение унифицированных лимитов на обширных территориях. Локальные популяции приурочены к специфическим биотопам, а их доступность для заготовителей формирует сложную мозаику антропогенной нагрузки. Интеграция полевых демографических данных с инструментами геоинформационного моделирования позволяет учитывать биологические ограничения при территориальном планировании. Картографирование экологических ниш, наложение данных о рельефе и транспортной доступности урочищ дает возможность грамотно зонировать ландшафт. В результате формируются ротационные участки, буферные зоны и абсолютные резерваты, где поддерживается естественный генофонд и сохраняются ключевые экологические функции сообществ.

Толерантность видов к антропогенному прессу не является константой; она варьирует во времени и пространстве под влиянием климатических флуктуаций и сукцессионных процессов. Нагрузка, допустимая в благоприятные годы, в периоды засухи или конкурентного угнетения может стать фактором, запускающим деградацию растительного покрова. В связи с этим жесткая привязка к разовым расчетам квот уступает место адаптивным стратегиям управления. Отслеживание возрастно-онтогенетической структуры и индикаторов регенерации служит системой раннего предупреждения. Смещение спектра особей в сторону сенильных фракций или падение семенной продуктивности требуют немедленного пересмотра хозяйственных нормативов и введения временного моратория на конкретном квадрате.

Биологическая уязвимость вида многократно усиливается, когда локальное потребление трансформируется в товарный оборот. Коммерциализация привлекает сторонних заготовителей, разрушает традиционные механизмы территориального контроля и многократно увеличивает интенсивность изъятия. Поэтому ботанико-ресурсное планирование

не может существовать в отрыве от социально-экономического контекста. Эффективные стратегии обязательно включают работу с местными сообществами, легализацию и адаптацию традиционных практик, а также развитие альтернативных источников дохода. Только сочетание строгого научного нормирования с учетом локальной системы землепользования способно предотвратить коллапс запасов.

Гармонизация отношений между обществом и дикой природой опирается на синтез фундаментальных ботанических знаний о жизненных циклах видов и современных методов пространственного анализа. Устойчивая заготовка лекарственно-технического сырья перестает быть просто технической задачей инвентаризации запасов, превращаясь в комплексную систему адаптивного ландшафтного управления. Сохранение биоразнообразия и удовлетворение потребностей в ценных природных продуктах достигаются исключительно через постоянное отслеживание демографических реакций фитоценозов и гибкую корректировку хозяйственных решений.

Список литературы

1. Фадеев Н. Б., Скрыпицына Т. Н., Кочнева Д. А., Лебедев Д. И. Изучение ресурсов дикорастущих лекарственных растений на залежных землях с использованием аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 11 (149). DOI: 10.60797/IRJ.2024.149.125.

2. Poudeyal M. R., Meilby H., Hart R., Ghimire S. K. Sustainable harvest of a threatened medicinal herb: Empirical evidence for spatially and temporally specific management of Neopicrorhiza scrophulariiflora // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2024. Vol. 64. Article 125799. DOI: 10.1016/j.ppees.2024.125799.

3. Пыжикова Е. М., Гальчеева М. А. Ресурсная характеристика Rhododendron adamsii в Окинском районе Республики Бурятия (Восточный Саян) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2023. Т. 22. № 2. С. 287–289. DOI:

10.14258/pbssm.2023142.

4. Wang C., Li Z., Ding R., Luo J. et al. Using UAVRS and deep learning to conduct resource surveys of threatened Tibetan medicinal plants in the Qinghai-Tibet Plateau // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 51. Article e02884. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02884.

5. Величко В. В., Круглов Д. С., Турышев А. Ю., Белоногова В. Д. Определение запасов сырья Pulmonaria mollis и P. obscura (Boraginaceae) // Растительные ресурсы. 2025. Т. 61. № 3. С. 52–59. DOI: 10.7868/S3034572325030034.

6. Meng J., You X., Zhang X., Shi T., Zhang L., Chen X., Zhao H., Xu M. Remote Sensing Application in Chinese Medicinal Plant Identification and Acreage Estimation—A Review // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. No. 23. Article 5580. DOI: 10.3390/rs15235580.

7. Houston E., Burkhart E. P., Zuiderveen G., Chen X. Identification of Goldenseal (Hydrastis canadensis L.) Habitat and Indicators in Pennsylvania, USA: The Influence of Climate and Site on In Situ Conservation of an Edge of Range Plant Species // Ecology and Evolution. 2025. Vol. 15. No. 3. Article e71050. DOI: 10.1002/ece3.71050.

8. Гемеджиева Н. Г., Рамазанова М. С., Арысбаева Р. Б., Кердяшкин А. В., Рыбаков И. А. Оценка сырьевой базы щавеля тяньшанского в горных регионах юго-востока Казахстана // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2023. Т. 22. № 1. С. 97–101. DOI: 10.14258/pbssm.2023017.

9. Roopashree S., Anitha J., Challa S., Mahesh T. R., Venkatesan V. K., Guluwadi S. et al. Mapping of soil suitability for medicinal plants using machine learning methods // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Article 3741. DOI: 10.1038/s41598-024-54465-3.

10. Fontaine N., Gauthier P., Caillon S., Thompson J. et al. Sustainability of Artemisia umbelliformis gathering in the wild: An integration of ecological conditions and harvesting exposure // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 51. Article e02886. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02886.

11. Науменко А. А. Дикорастущие древесные лекарственные растения флоры

России: ресурсы и биологическая активность извлечений // Растительные ресурсы. 2025. Т. 61. № 3. С. 3–40. DOI: 10.7868/S3034572325030015.

12. Angmo K., Adhikari B. S., Rawat G. S. Prioritizing conservation and participatory mapping of ethnomedicinal plant resources in Western Ladakh, Indian trans-Himalaya // Frontiers in Forests and Global Change. 2025. Vol. 8. Article 1481219. DOI: 10.3389/ffgc.2025.1481219.

13. Гемеджиева Н. Г., Каржаубекова Ж. Ж., Арысбаева Р. Б., Рамазанова М. С., Шормакова К. Н., Рыбаков И. А. Запасы сырья Nitraria schoberi L. на юге и юго-востоке Казахстана // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2025. DOI: 10.14258/pbssm.2025048.

14. Tomar S., Thakur S., Kanwal K. S., Bhatt I. D., Puri S. Population assessment and habitat suitability modelling of endangered medicinal plant, Aconitum heterophyllum Wall. ex Royle in the western Himalaya // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 33794. DOI: 10.1038/s41598-025-03324-w.

15. Панин И. А. Пищевые и лекарственные ресурсы постпирогенных насаждений подзоны средней тайги Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 1 (96). С. 49–60. DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.005.

16. Maxmudov A., Abduraimov O., Allamurotov A., Maxmudov V., Halimova S., Tojibayev K. Scale for Assessing the Impact of Operational Stress on the Resource Potential of Medicinal Plants: A Case Study of Southern Uzbekistan // Environment and Ecology Research. 2025. Vol. 13. No. 6. P. 850–867. DOI: 10.13189/eer.2025.130608.

17. Афанасьева Л. В., Рупышев Ю. А., Дылгырова И. В., Серебрюхова А. К. Инвентаризация лекарственных растений флоры Республики Бурятия // Растительные ресурсы. 2026. Т. 62. № 1. С. 37–49.

18. Tavan M., Azizi A., Sarikhani H., Dastres E., Rigano M. M., Mirjalili M. H. Predicting the impact of climate change on the habitat suitability and phytochemical quality of Salvia multicaulis Vahl // BMC Plant Biology. 2026. Vol. 26. Article 61. DOI: 10.1186/s12870-025-07756-4.

19. Круглов Д. С., Олешко Е. Д., Величко В. В., Прокушева Д. Л. Ресурсный потенциал Onosma simplicissima L. (Boraginaceae), произрастающей в Новосибирской области // Гербариум. 2026. Т. 3. № 1. С. 33–40. DOI: 10.33380/3034-3925-2026-3-1-63.

20. Dastres E., Esmaeili H., Edalat M. et al. Species distribution models and machine learning algorithms for medicinal and industrial plants conservation: Bridging habitat suitability and phytochemical quality mapping // Smart Agricultural Technology. 2026. Vol. 14. Article 102172. DOI: 10.1016/j.atech.2026.102172.

References

1. Fadeev N. B., Skrypitsyna T. N., Kochneva D. A., Lebedev D. I. Izuchenie resursov dikorastushchikh lekarstvennykh rastenii na zalezhnykh zemlyakh s ispol'zovaniem aerofotos"emki s bespilotnykh vozdushnykh sudov // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2024. № 11 (149). DOI: 10.60797/IRJ.2024.149.125.

2. Poudeyal M. R., Meilby H., Hart R., Ghimire S. K. Sustainable harvest of a threatened medicinal herb: Empirical evidence for spatially and temporally specific management of Neopicrorhiza scrophulariiflora // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2024. Vol. 64. Article 125799. DOI: 10.1016/j.ppees.2024.125799.

3. Pyzhikova E. M., Gal'cheeva M. A. Resursnaya kharakteristika Rhododendron adamsii v Okinskom raione Respubliki Buryatiya (Vostochnyi Sayan) // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii. 2023. T. 22. № 2. S. 287–289. DOI: 10.14258/pbssm.2023142.

4. Wang C., Li Z., Ding R., Luo J. et al. Using UAVRS and deep learning to conduct resource surveys of threatened Tibetan medicinal plants in the Qinghai-Tibet Plateau // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 51. Article e02884. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02884.

5. Velichko V. V., Kruglov D. S., Turyshev A. Yu., Belonogova V. D. Opredelenie zapasov syr'ya Pulmonaria mollis i P. obscura (Boraginaceae) // Rastitel'nye resursy. 2025. T. 61. № 3. S. 52–59. DOI: 10.7868/S3034572325030034.

6. Meng J., You X., Zhang X., Shi T., Zhang L., Chen X., Zhao H., Xu M. Remote Sensing Application in Chinese Medicinal Plant Identification and Acreage Estimation—A Review // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. No. 23. Article 5580. DOI: 10.3390/rs15235580.

7. Houston E., Burkhart E. P., Zuiderveen G., Chen X. Identification of Goldenseal (Hydrastis canadensis L.) Habitat and Indicators in Pennsylvania, USA: The Influence of Climate and Site on In Situ Conservation of an Edge of Range Plant Species // Ecology and Evolution. 2025. Vol. 15. No. 3. Article e71050. DOI: 10.1002/ece3.71050.

8. Gemedzhieva N. G., Ramazanova M. S., Arysbaeva R. B., Kerdyashkin A. V., Rybakov I. A. Otsenka syr'evoi bazy shchavelya tyan'shanskogo v gornykh regionakh yugo-vostoka Kazakhstana // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii. 2023. T. 22. № 1. S. 97–101. DOI: 10.14258/pbssm.2023017.

9. Roopashree S., Anitha J., Challa S., Mahesh T. R., Venkatesan V. K., Guluwadi S. et al. Mapping of soil suitability for medicinal plants using machine learning methods // Scientific Reports. 2024. Vol. 14. Article 3741. DOI: 10.1038/s41598-024-54465-3.

10. Fontaine N., Gauthier P., Caillon S., Thompson J. et al. Sustainability of Artemisia umbelliformis gathering in the wild: An integration of ecological conditions and harvesting exposure // Global Ecology and Conservation. 2024. Vol. 51. Article e02886. DOI: 10.1016/j.gecco.2024.e02886.

11. Naumenko A. A. Dikorastushchie drevesnye lekarstvennye rasteniya flory Rossii: resursy i biologicheskaya aktivnost' izvlechenii // Rastitel'nye resursy. 2025. T. 61. № 3. S. 3–40. DOI: 10.7868/S3034572325030015.

12. Angmo K., Adhikari B. S., Rawat G. S. Prioritizing conservation and participatory mapping of ethnomedicinal plant resources in Western Ladakh, Indian trans-Himalaya // Frontiers in Forests and Global Change. 2025. Vol. 8. Article 1481219. DOI: 10.3389/ffgc.2025.1481219.

13. Gemedzhieva N. G., Karzhaubekova Zh. Zh., Arysbaeva R. B., Ramazanova M. S., Shormakova K. N., Rybakov I. A. Zapasy syr'ya Nitraria schoberi L. na yuge i yugo-

vostoke Kazakhstana // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii. 2025. DOI: 10.14258/pbssm.2025048.

14. Tomar S., Thakur S., Kanwal K. S., Bhatt I. D., Puri S. Population assessment and habitat suitability modelling of endangered medicinal plant, Aconitum heterophyllum Wall. ex Royle in the western Himalaya // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Article 33794. DOI: 10.1038/s41598-025-03324-w.

15. Panin I. A. Pishchevye i lekarstvennye resursy postpirogennykh nasazhdenii podzony srednei taigi Sverdlovskoi oblasti // Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh. 2026. № 1 (96). S. 49–60. DOI: 10.51318/FRET.2026.96.1.005.

16. Maxmudov A., Abduraimov O., Allamurotov A., Maxmudov V., Halimova S., Tojibayev K. Scale for Assessing the Impact of Operational Stress on the Resource Potential of Medicinal Plants: A Case Study of Southern Uzbekistan // Environment and Ecology Research. 2025. Vol. 13. No. 6. P. 850–867. DOI: 10.13189/eer.2025.130608.

17. Afanas'eva L. V., Rupyshev Yu. A., Dylgyrova I. V., Serebryukhova A. K. Inventarizatsiya lekarstvennykh rastenii flory Respubliki Buryatiya // Rastitel'nye resursy. 2026. T. 62. № 1. S. 37–49.

18. Tavan M., Azizi A., Sarikhani H., Dastres E., Rigano M. M., Mirjalili M. H. Predicting the impact of climate change on the habitat suitability and phytochemical quality of Salvia multicaulis Vahl // BMC Plant Biology. 2026. Vol. 26. Article 61. DOI: 10.1186/s12870-025-07756-4.

19. Kruglov D. S., Oleshko E. D., Velichko V. V., Prokusheva D. L. Resursnyi potentsial Onosma simplicissima L. (Boraginaceae), proizrastayushchei v Novosibirskoi oblasti // Gerbarium. 2026. T. 3. № 1. S. 33–40. DOI: 10.33380/3034-3925-2026-3-1-63.

20. Dastres E., Esmaeili H., Edalat M. et al. Species distribution models and machine learning algorithms for medicinal and industrial plants conservation: Bridging habitat suitability and phytochemical quality mapping // Smart Agricultural Technology. 2026. Vol. 14. Article 102172. DOI: 10.1016/j.atech.2026.102172.

Статья поступила в редакцию 17.02.2026; одобрена после рецензирования 31.03.2026; принята к публикации 01.09.2026.

The article was submitted 17.02.2026; approved after peer review 31.03.2026; accepted for publication 01.09.2026.